



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# **ICP-METSÄOHJELMAN HYDROLOGISEN SEURANTA-AINEISTON ANALYYSI**

Mirva Kuivalainen

YMPÄRISTÖTEKNIikka

Diplomityö

Toukokuu 2020

## TIIVISTELMÄ

ICP-metsäohjelman hydrologisen seuranta-aineiston analyysi

Mirva Kuivalainen

Oulun yliopisto, Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Diplomityö 2020, 62 s.

Työn ohjaajat yliopistolla: Hannu Marttila & Pertti Ala-Aho

Suomi kuuluu ICP Forests – metsien seurantaohjelmaan, joka seuraa metsien kuntoa Euroopassa. Seurantaohjelman tavoitteena on tuottaa tietoa metsäekosysteemin tilasta ja sen yhteydestä ilman epäpuhtauksiin, ilmastonmuutokseen sekä luonnon monimuotoisuuteen. Metsien seuranta tuottaa hydrologista seuranta-aineistoa, jota on käytetty tämän diplomityön suorittamiseen. Hydrologinen seuranta-aineisto on saatu käyttöön Luonnonvarakeskukselta. Seuranta-aineisto sisältää sadannan mittauksia 28:sta eri havaintoalasta ympäri Suomea.

Diplomityön tavoitteena oli tutkia kuusen, männyn ja koivun latvuston vedenpidätystä ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Puuston latvuston vedenpidätyksen lisäksi oltiin kiinnostuneita siitä, että onko seuranta-aineistosta mahdollista tehdä tämän diplomityön kaltaista tutkimusta. Työ on toteutettu tekemällä laskelmia ja havainnollistavia kuvaajia seuranta-aineistosta sekä perehtymällä jo aiemmin tehtyihin tutkimuksiin.

Tutkimuksen tuloksena kuusen keskimääräinen latvuston vedenpidätys oli noin 25 %, 144 mm, männyn 19 %, 133 mm ja koivun 16%, 88 mm. Työssä havaittiin myös maantieteellisiä eroja, sillä Pohjois-Suomessa latvuston vedenpidätys oli vähäisempää kuin Etelä-Suomessa. Työssä tutkittiin myös latvuston pinta-alan ja sääolosuhteiden vaikutuksia puuston latvuston vedenpidätykseen. Tutkimuksen tuloksena latvuston pinta-alan lisääntyminen lisäsi latvuston vedenpidätystä. Sääolosuhteista sadannan voimakkuudella ja määrällä havaittiin vaikutuksia latvuston vedenpidätykseen.

Potentiaalisella evapotranspiraatiolla ei havaittu vaikutuksia. Puuston latvuston vedenpidätyksessä oli havaittavissa myös hieman vuodenajan vaihtelun vaikutuksia.

Työn tuloksia voidaan käyttää muun muassa kuivatuksen suunnittelussa kaupunkialueilla valitsemalla mahdollisimman vettä pidättävä puulaji. Lisäksi työn tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi tutkittaessa metsien ekosysteemiä ja metsän vesitasetta.

*Asiasanat: metsikkösadanta, sadanta, latvuston interseptio, haihdunta*

## ABSTRACT

Analysis of hydrological data from ICP Forests programme

Mirva Kuivalainen

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Master's thesis 2020, 62 pp.

Supervisors at the university: Hannu Marttila & Pertti Ala-Aho

Finland is participating in ICP Forests monitoring programme, which monitors the condition of the forests in Europe. The aim of the monitoring programme is to produce information on the state of the forest ecosystem and its connection to air pollution, climate change and biodiversity. The forest monitoring programme produces a hydrological data, that has been used to conduct this thesis. The data have been received from the Natural Resources Center. The hydrological data includes precipitation measurements from 28 different observation areas throughout Finland.

The aim of this thesis was to study the canopy interception of Scots pine, Norway spruce and Birch and the factors that may have an effect to it. In addition to the canopy interception of the stands, there was an interest in whether it is possible to make this kind of research based on the hydrological data. The research has been done for the University of Oulu, Water Energy and Environmental Engineering Research Unit in cooperation with the Natural Resources Center. The research has been carried out by making calculations and graphs of the hydrological data and by examining previous researches.

As a result of this research the average canopy interception of Norway spruce was 25 %, 144 mm, Scots pine 19%, 133 mm and Birch 16 %, 88 mm. Geographical differences were also observed: in northern Finland canopy interception was lower than in southern Finland. The effects of canopy area and weather conditions on canopy interception were

also studied. The canopy interception increased as the canopy area increased. Regarding the weather conditions, effects on canopy interception were observed with the intensity and the amount of precipitation. However, no effects were observed between canopy interception and the potential evapotranspiration. There was some seasonal variation in the canopy interception of the stands.

The results of this research can be used for example in drainage planning in urban areas by choosing the tree species with the highest canopy interception. In addition, the results can be utilized for example in the research of forest ecosystem and the forest water balance.

*Keywords: throughfall, rainfall, canopy interception, evaporation*

## ALKUSANAT

Diplomityön tarkoituksena oli tutkia puuston latvuston vedenpidätystä ja siihen vaikuttavia tekijöitä Luonnonvarakeskukselta saadusta hydrologisesta seuranta-aineistosta. Kiitän Oulun yliopistoa, Vesi-, Energia- ja Ympäristötekniikan tutkimusyksikköä tästä diplomityön aiheesta. Diplomityön rahoitti Maa- ja vesitekniikan tuki ry:n tukema hanke ”HydArk – Arkistojen unohdetut hydrologiset aarteet”. Diplomityö on toteutettu lokakuun 2019 ja kesäkuun 2020 välisenä aikana.

Haluan kiittää työni ohjaajia Hannu Marttilaa ja Pertti Ala-Ahoa ensinnäkin diplomityön mahdollistamisesta. Lisäksi haluan kiittää heitä heidän antamastaan tuesta ja avusta diplomityön aikana. Tahdon myös osoittaa kiitokseni Luonnonvarakeskuksen Tiina Niemiselle ja Antti-Jussi Lindroosille hyvästä yhteistyöstä ja neuvoista.

Erityiskiitokset saavat perheeni, ystäväni ja opiskelutoverini valtavasta tuesta ja kannustuksesta, jota olette antaneet minulle opiskelujeni aikana.

Oulu, 27.5.2020

*Mirva Kuivalainen*

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	9
2 KIRJALLISUUSKATSAUS .....	10
2.1 Veden kiertokulku .....	10
2.2 Sadanta .....	11
2.2.1 Sateen synty .....	11
2.2.2 Sadannan vaihtelu .....	13
2.2.3 Interseptio .....	14
2.3 Haihdunta .....	18
2.3.1 Haihdunnan prosessi .....	18
2.3.2 Haihdunnan käsitteet .....	19
2.3.3 Haihdunnan muodot .....	20
2.4 Suomen sääolosuhteet .....	22
2.5 Suomen metsät .....	25
3 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN .....	30
3.1 ICP Forests - seurantaohjelma .....	30
3.1.1 ICP Forests - seurantaohjelma Suomessa .....	31
3.1.2 Seurantametsät .....	32
3.1.3 Sadannan keräimet .....	34
3.2 Tutkimuksessa käytettävä aineisto .....	35
3.3 Tutkimusmenetelmät .....	36
4 TUTKIMUKSEN TULOKSET .....	39
4.1 Tulokset .....	39
4.2 Tulosten tarkastelu .....	47
4.2.1 Puulajin vaikutus latvuston vedenpidätykseen .....	47
4.2.2 Vuosittaisia eroja havaittiin latvuston vedenpidätyksessä .....	48
4.2.3 Latvuston pinta-alan lisääntyminen lisää latvuston vedenpidätystä .....	50

4.2.4 Sääolosuhteiden vaikutus interseptioon.....	50
5 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	53
6 YHTEENVETO .....	55
7 LÄHTEET .....	58



## 1 JOHDANTO

Suomi kuuluu ICP Forests – metsien seurantaohjelmaan, joka seuraa metsien kuntoa Euroopassa. Seurantaohjelman tavoitteena on tuottaa tietoa metsäekosysteemin tilasta ja sen yhteydestä ilman epäpuhtauksiin, ilmastonmuutokseen sekä luonnon monimuotoisuuteen (ICP Forests 2011a; ICP Forests 2011b). Metsien seuranta tuottaa hydrologista seuranta-aineistoa, jota on käytetty tutkimuksen suorittamiseen. Hydrologinen aineisto on saatu käyttöön Luonnonvarakeskukselta ja se sisältää sadannan mittauksia 28:sta eri havaintoalasta ympäri Suomea.

Tämän diplomityön tavoitteena on tutkia kuusen, männyn ja koivun latvuston vedenpidätystä ja siihen vaikuttavia tekijöitä, kuten puuston latvuston pinta-alaa ja sääolosuhteita. Puun latvuston vedenpidätyksen lisäksi ollaan kiinnostuneita siitä, että onko seuranta-aineistosta mahdollista tehdä tämän diplomityön kaltaista tutkimusta. Työssä oli myös tarkoituksena tutkia havaintoaloista saatua maaveden seuranta-aineistoa mutta se päätettiin työn laajuuden vuoksi jättää pois. Tämä diplomityö on tehty Oulun Yliopiston Vesi-, Energia- ja Ympäristötekniikan tutkimusyksikölle yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen kanssa.

Työ on toteutettu tekemällä seuranta-aineistosta laskelmia ja havainnollistavia kuvaajia sekä perehtymällä aiheesta jo aiemmin tehtyihin tutkimuksiin. Työn tulokset on esitelty Tutkimuksen tulokset – osiossa. Työn kirjallisuuskatsauksessa on perehdytty sadannan ja haihdunnan muodostumisen teoriaan sekä Suomen sääoloihin ja tutkimuksessa esiintyviin puulajeihin. Tutkimuksen suorittaminen – osiossa on kerrottu tarkemmin ICP Forests – metsäseurantaohjelmasta, ohjelmaan kuuluvista havaintoaloista ja seuranta-aineiston keruussa käytetyistä keräimistä. Lisäksi osiossa on esitelty tutkimuksessa käytettyä aineistoa sekä tutkimusmenetelmiä.

## 2 KIRJALLISUUSKATSAUS

### 2.1 Veden kiertokulku

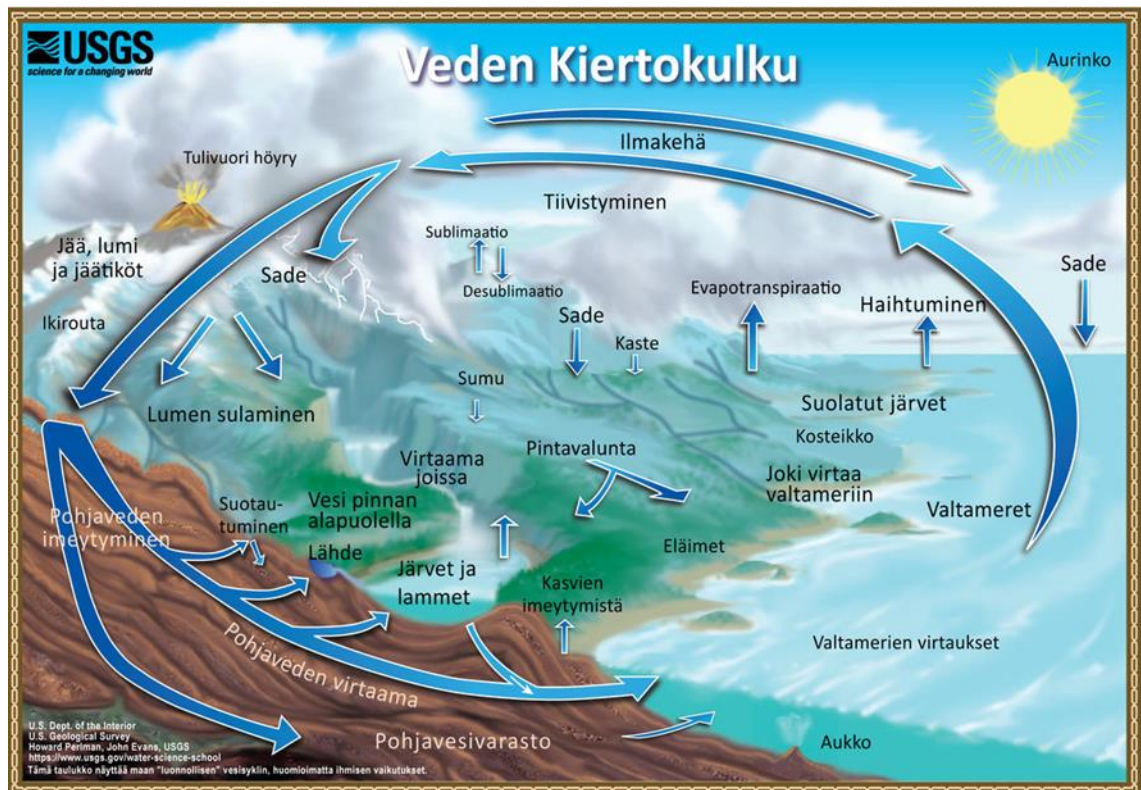
Vesi on luonnossa jatkuvassa liikkeessä (kuva 1). Suurin osa luonnon vesivarannoista on varastoituneena valtameriin. Valtamerissä on varastoituneena suolaista vettä noin 97 prosenttia. Loput luonnon vesivarannoista eli noin 3 prosenttia on makeaa vettä. Makeaa vettä on varastoituneena muun muassa jäätiköihin, pohjavesiin, järviin ja jokiin. (Peda.net 2020)

Veden kiertokulkua luonnossa ohjaa auringon säteilemä energia. Auringon säteily lämmittää valtameriä, jolloin valtamerien pinnasta haihtuu ilmaan vettä. Valtamerien lisäksi vettä haihtuu ilmaan muun muassa myös järvistä, joista, kasvien pinnoilta, lumipeitteestä ja maanpinnalta. Ilmaan vapautuneen vesihöyryn noustessa, se jäähtyy ja muodostaa pilviä. Pilviä muodostuu myös tulivuorista purkautuneesta vesihöyrystä. Pilvet liikkuvat taivaalla tuulien mukana ympäri maapalloa. Pilvien kohdatessa, ne yhdistyvät muodostavat suurempia pilviä ja putoavat taivaalta vesi- tai lumisateena. (RIL141 1982 s. 10-11)

Osa maahan sataneesta vedestä virtaa maan pinnanmuotojen sekä painovoiman vaikutuksesta järviin, jokiin ja meriin. Osa maahan sataneesta vedestä taas imeytyy maaperään tai pidättäytyy kasvien pinnoille. Maaperässä vesi liikkuu painovoiman sekä paineen vaikutuksesta. Kun maaperän läpi suodautunut vesi törmää vettä läpäisemättömään maakerrokseen syvemmillä maaperässä, se täyttää maan huokokset vedellä muodostaen pohjavettä. Osa muodostuneesta pohjavedestä purkautuu jokiin ja järviin. Pohjavesi voi myös tihkua maanpinnalla oleviin lähteisiin, mutta lopulta se virtaa takaisin valtameriin. (RIL141 1982 s. 10-11).

Talvikautena, riippuen maanosasta, sade voi tulla lumena ja muodostua jääksi tai jäätiköiksi. Osa muodostuneesta lumesta ja jäästä voi haihtua suoraan ilmaan. Valtamerien lisäksi osa maapallon vesivarannoista on varastoituneena jäätikköihin. Makean veden osuudesta jäätikköihin on varastoituneena noin 1,8 prosenttia.

Talvikauden päätyttyä, kevään tullessa, lumi sulaa ja muuttuu takaisin virtaavaksi vedeksi jatkaen näin veden kiertokulkua. (RIL141 1982 s. 10-11; Peda.net 2020)



Kuva 1. Veden kiertokulku luonnossa (U. S. Geological Survey 2017).

## 2.2 Sadanta

### 2.2.1 Sateen synty

Sateen syntyminen on monimutkainen ja monivaiheinen prosessi. Sateen syntymisen edellytyksiä ovat: ilmassa jäähtyminen kastepistettä vastaavaan lämpötilaan, ilmassa sisältämän vesihöyryn tiivistyminen pilvipisaroiksi tai jääalkioiksi, pilvipisaroitten tai jääalkioitten kasvu sadepisaroiksi, lumihitaleiksi tai rakeiksi ja vesihöyryn kulkeutuminen ilmakehään. (Dingman 2008 s. 94)

Sade voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin sen syntymisen perusteella. Sadannan tyyppejä ovat sykloninen sade, konvektiivinen sade ja orografinen sade. Suomessa sykloninen sade syntyy, kun idästä virtaa kylmä polaari-ilmamassa ja lännestä lämmin ilmamassa. Ilmamassojen törmätessä, niiden rajapinnalla syntyy häiriötiloja. Lämpimässä rintamassa sade saa alkunsa, kun lämmin ja kylmä ilma törmäävät ja lämmin ilma kohoaa kylmän ilman yläpuolelle. Kun lämpimän ja kylmän ilman rajapinnan kaltevuus on pieni ( $1/100 \dots 1/400$ ), lämmin ilma kohoaa ja jäähtyy hitaasti. Ilman jäähtyessä hitaasti sadanta on rankkuudeltaan melko vaimeaa, ulottuu laajalle alueelle ja on kestoltaan yleensä pitkä, 6-12 tuntia. Kylmän rintaman sade saa alkunsa, kun lämmin ja kylmä ilma törmäävät ja kylmä ilma joutuu lämpimän ilman alle. Kylmän ilman joutuessa lämpimän ilman alle, lämmin ilma kohoaa ja jäähtyy nopeasti. Rajapinnan kaltevuuden ollessa suuri ( $1/25 \dots 1/100$ ), kylmän rintaman sade on voimakasta, ei ulotu laajalle alueelle ja on kestoltaan yleensä lyhyt. (RIL141 1982 s. 16).

Konvektiivinen sade syntyy yleensä kesällä, kun jokin maanpinnan osa lämpenee ympäristöään lämpimämmäksi. Maanpinnan lämmitessä maanpinnan lähellä oleva ilmakerros lämpenee muita ilmakerroksia kevyemmäksi ja alkaa kohota sekä jäähtyä. Konvektiiviset sateet ovat yleensä voimakkaita, eivät ulotu laajalle alueelle, ovat kestoltaan lyhytaikaisia ja niihin liittyy monesti ukkosta.

Orografinen sade saa alkunsa, kun tuulten vaikutuksesta liikkuva ilmamassa kohtaa maastoesteen ja joutuu tämän vuoksi kohoamaan ylöspäin. Orografista sadetta tavataan yleensä vuoristoisilla rannikoilla, kun vuoristo ei ole tuulen kanssa samansuuntainen. Tällainen orografinen sade kasvaa usein korkeuden funktiona. Alueen topografialla on vaikutusta sadannan jakautumiseen myös alueilla, joiden korkeussuhteet eivät vaihtelee niin voimakkaasti. (RIL141 1982 s. 17)

Suomessa sadanta on yleensä sadetyypiltään syklonista rintamasadetta, vaikka suurin osa kesäsateista syntyy konvektiivisina sateina. Suomi on pinnanmuodoiltaan melko tasaista ja alavaa. Pinnanmuotojen korkeusmuutokset aiheuttavat silti orografisen vaikutuksen. Orografinen vaikutus näkyy Suomessa siten, että tuulenpuoleisilla rinteillä sataa enemmän. Orografinen vaikutus näkyy myös Suomen sadannassa, kun

Skandinavian tunturit pidättävät suuren osan Atlantilta puhaltavien ilmamassojen kosteudesta. (RIL141 1982 s. 17)

### 2.2.2 Sadannan vaihtelu

Sadantaan vaikuttavat monet tekijät ja sen vaihtelu on suurta eri alueilla. Alueella vallitsevaan sadantaan vaikuttaa muun muassa leveysaste, maan pinnanmuotojen korkeusvaihtelut, alueen sijainti kosteuslähteisiin nähden, alueella vallitsevien tuulten suunta, alueen sijainti vuorijonoihin nähden sekä meren ja mantereen lämpötilaerot. Sadanta on yleensä suurta leveysasteilla, joissa ilmamassojen liike suuntautuu ylöspäin, kuten trooppisella vyöhykkeellä ja keskileveysasteilla. Alueen pinnanmuotojen korkeusvaihtelut saavat aikaan orografisen vaikutuksen, orografisen jäähtymisen vaikutuksesta sademäärä kasvaa korkeuden funktiona yleensä 1500 metriin saakka. Alueen sijainti kosteuslähteisiin nähden, kuten meriin, suuriin järviin ja metsä- ja suoalueisiin, on merkittävä tekijä alueen sadannassa. Alueellisten tuulten vaikutukset näkyvät varsinkin silloin, kun tuulet puhaltavat mereltä mantereelle. Tällöin rannikkoalueella sataa yleensä runsaasti. Alueen sijainti vuorijonoon nähden vaikuttaa alueen sadantaan niin, että rinteiden tuulisella puolella sataa yleensä paljon ja rinteiden suojaisella puolella voi olla hyvinkin kuivaa. (RIL141 1982 s. 23-24)

Alueellisen vaihtelun lisäksi, sadantaan vaikuttaa vuodenajan vaihtelut. Suomessa on yleistä, että talvella sataa usein mutta talven sadanta on vaimeaa. Talven sadanta voi monesti kestää useita tunteja. Kesäisin ilman lämmetessä ilmaan mahtuu enemmän kosteutta, jolloin sadanta on voimakkaampaa. Kesällä tavataan useimmiten rankkasateita, jotka ajallisesti keskittyvät iltapäiviin ja ovat kestoaltaan 20-30 minuuttia. Yhtenäiset kesäsateet ovat kestoaltaan usein neljä tuntia. (Ilmatieteenlaitos 2019a)

Sadannan intensiteetillä tarkoitetaan sadannan voimakkuutta. Suomessa sateen intensiteetti on yleensä suuruusluokaltaan 1-5 mm/h. Voimakas sadanta tarkoittaa, että hetkellisesti tulee paljon vettä. Runsaalla sateella tarkoitetaan, että vuorokauden aikana sataa paljon vettä. Yleensä sadannan ollessa voimakasta, se on kuuroluontoista ja liittyy varsinkin ukonilmoihin. Sateen määrä ja todennäköisyys eivät ole riippuvaisia toisistaan, esimerkiksi sateen todennäköisyys voi olla pieni mutta sademäärä iso. Tämä

tarkoittaa sitä, että sateen mahdollisuus ei ole kovin todennäköinen mutta jos sataa, sataa runsaasti. (Ilmatieteenlaitos 2019a; RIL1982 s. 17)

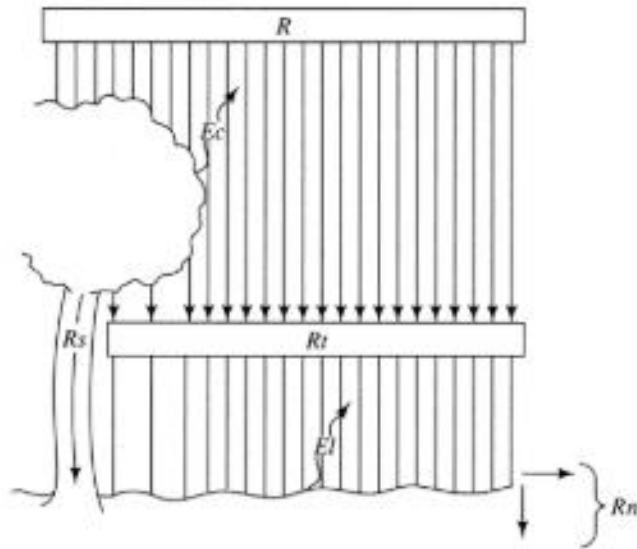
### 2.2.3 Interseptio

Interseptio, eli sadannan pidättyminen kasvien pinnoille on riippuvainen monesta tekijästä. Interseptioon vaikuttaa muun muassa sadanta ja kasvillisuus. Sadannan vaikutuksia interseptioon ovat sen jakautuminen, intensiteetti, toistuvuus ja muoto. Sadannan jakautumisella tarkoitetaan alueellista jakautumista, osalla alueista sataa enemmän kuin toisilla. Sadannan intensiteetti eli sadannan voimakkuus kertoo kuinka paljon vettä sataa tietyssä hetkenä. Sadannan intensiteetin lisäksi sadannan toistuvuus vaihtelee eli kuinka usein sataa. Sadannan muotoja ovat vesi- ja lumisade. Kasvillisuuden vaikutuksia interseptioon on sen korkeus, tiheys ja laatu. Kasvillisuuden korkeus vaikuttaa kasvien vedenpidätykseen muuan muassa siten, että esimerkiksi korkeiden puiden latvustot ovat alttiita tuulen vaikutuksille. Kasvillisuuden ollessa tiheää, vedenpidätyksen pinta-ala on suurempi, mikä lisää kasvillisuuden vedenpidätystä. Kasvillisuuden laadullisia tekijöitä ovat esimerkiksi kasvien rakenne ja lehdistö. Nämä tekijät yhdessä ja erikseen joko lisäävät tai vähentävät kasvillisuuden vedenpidätystä. (Dingman 2008 s. 301; RIL141 1982 s. 44; Gerrits 2010 s. 11)

Talvella puun latvusto pidättää veden lisäksi lunta. Havupuut voivat varastoida talvella niin paljon lunta, että ne romahtavat lumen painon vaikutuksesta. Lumen varastointikapasiteetti eroaa veden varastointikapasiteetista siten, että veden varastointikapasiteetti on pääasiassa riippuvainen lehtipinta-alasta ja lumen varastointikapasiteettiin vaikuttaa enemmän oksien kantavuus, puun muoto ja ilmaston lämpötila. Esimerkiksi jos lunta sataa lämpötilan ollessa lähellä jäätymispistettä, lumen koheesio on suurempi, jolloin lunta voi varastoitua enemmän latvustoon. Lisäksi veden ja lumen pidätys eroaa kuinka vesi- ja lumivarastot tyhjenevät. Vesisateen aikana vesivaraston tullessa täyteen metsikkösadanta alkaa heti ja vesivarastot tyhjenevät haihdunnan kautta. Lumivarastot tyhjenevät oikeastaan vain sublimaation, mekaanisen liikkeen ja lumen sulamisen kautta. (Dingman 2008 s. 301; RIL141 1982 s. 44; Gerrits 2010 s. 11)

Interseptiolla on vaikutuksia muun muassa veden kiertokulkuun metsässä. Veden pidättymien kasvillisuuden pinnoille vaikuttaa esimerkiksi veden suotautumiseen maaperässä siten, että se aiheuttaa enemmän asteittaista suotautumista. Eli toisin sanoen veden pidättyminen kasvien pinnoille hidastaa sadeveden kulkeutumista maan pinnalle ja tasaa siten sadeveden suotautumista pidemmälle ajanjaksolle. Interseptio myös jakaa sadantaa, siten että osalle maa-alueista sataa enemmän vettä kuin toisille. Veden kiertokulun lisäksi interseptiolla on vaikutuksia ravintoaineiden, ilman epäpuhtauksien ja kasvieritteiden huuhtoutumiseen lehvästön pinnoilta ja solukoista. Interseptio voi myös vähentää maaperän eroosiota. Interseption lisäksi haihdunnalla kasvien pinnoilta on vaikutuksia veden kiertokulkuun metsässä, sillä suurin osa kasvillisuuteen pidättäytyneestä vedestä poistuu haihtumalla. (Gerrits 2010 s. 4; Nieminen ym. 1999)

Interseptioprosessiin liittyviä termejä on esitetty kuvassa 2. Kasvien yläpuolelle tullutta sadantaa kutsutaan vapaaksi sadannaksi (R). Vapaa sadanta putoaa kasvien pinnoille, mistä osa päättyy maahan kasvien lehdistä ja neulasista tippumalla sekä runkovaluntana. Loput sadannasta pidättyy kasveihin. Metsikkösadanta ( $R_t$ ) kuvaa sitä osaa sadannasta, mikä sataa puun latvuston aukkojen läpi maahan ja latvustosta tippumalla. Runkovalunta ( $R_s$ ) on se osa vapaasta sadannasta, joka päättyy maan pinnalle valumalla puiden runkoja pitkin. Sadannan jälkeen kasvien pinnoille pidättynyt vesi on heti altis haihdunnalle, latvustopidännän häviö ( $E_c$ ) kuvaa sitä osaa mikä haihtuu kasvien pinnoilta. Maan pinnalla olevan karikkeen vedenpidätyksen häviö ( $E_l$ ) kuvaa maan pinnalla olevaan karikkeeseen pidättäytyneen veden haihduntaa. Lisäksi siihen lasketaan yleensä mukaan haihdunta maan pintaa lähellä olevien kasvien pinnoilta ja maanpinnalta olevasta lehtikarikkeesta. Kokonaisvedenpidätyksen häviö ( $E_i$ ), on latvustosta ja maan pinnalta olevasta karikkeesta haihtunut vesi. Tehollinen sadanta ( $R_n$ ) kuvaa sitä osaa sadannasta, joka päättyy maahan. (Dingman 2008 s. 302; RIL141 1982 s. 44)



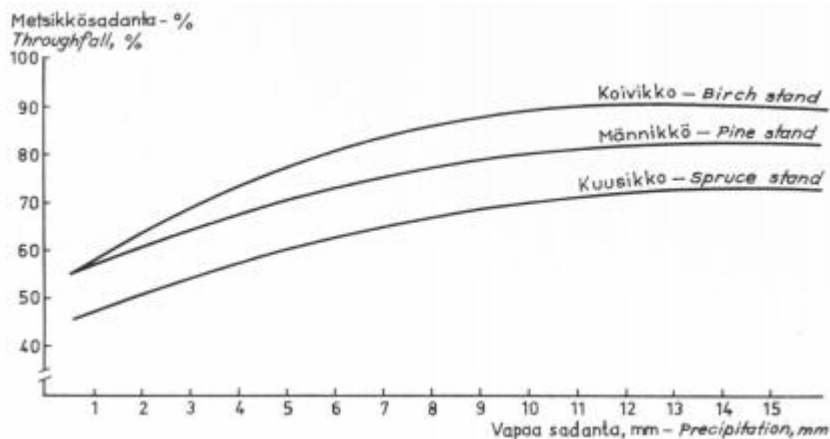
**Kuva 2. Interseptioprosessin termejä;  $R$  = vapaa sadanta,  $R_t$  = metsikkösadanta,  $R_s$  = runkovalunta,  $E_c$  = latvustopidännän häviö,  $E_i$  = karikepidätyksen häviö,  $E_i$  = kokonaisvedenpidätyksen häviö,  $R_n$  = tehollinen sadanta. (Dingman 2008 s. 302)**

Puuston vedenpidätyksestä on tehty paljon tutkimuksia. Gerritsin (2010) tekemän tutkimuksen mukaan lehtipuiden ja havupuiden välillä on eroja latvuston vedenpidätyksessä. Havupuumetsät pidättävät enemmän vettä kuin lehtipuumetsät. Erot eivät johdu ainoastaan siitä, että lehtipuut varistavat syksyn tullessa lehtensä vaan myös lehtipinta-alalla on vaikutusta. Havupuiden lehtipinta-ala on suurempi kuin lehtipuiden, joten havupuut voivat varastoida enemmän vettä. Lehtipuilla ei siis toisin sanoen ole talvella lainkaan lehtipinta-alaa ja kesällä lehtipinta-alan muodostaa vain yksi lehtivuosisikerta. Männyllä on 3-5 neulasvuosisikertaa ja kuusella 5-10 vuosisikertaa ympäri vuoden. Lisäksi lehtipuiden lehdet taipuvat helpommin tullessaan painaviksi ja lehtien ollessa veden kyllästävät, vesi tippuu maahan helpommin tasaisista lehdistä kuin neulasista. Myös Klamerus-Iwanin (2014) tekemän kirjallisuustutkimuksen mukaan vedenpidätyksen suuruus on riippuvainen maan yläpuolella olevan vettä pidättävän pinnan pinta-alasta. Klamerus-Iwanin tekemässä tutkimuksessa on tarkasteltu myös sadannan intensiteetin vaikutuksia. Tutkimuksen mukaan vedenpidätys kasvoi sadannan



intensiteetin kasvaessa, jos sadanta oli riittävän pitkäkestoinen. (Gerrits 2010 s. 5; Klamerus-Iwan 2013 s. 293-294; Nieminen 2020)

Päiväsen (1966) tekemän tutkimuksen mukaan vapaan sadannan ollessa 4,8 mm (tutkimuksen vapaan sadannan keskiarvo) metsikkösadanta koivikossa oli keskimäärin 77 prosenttia vapaasta sadannasta, männikössä 71 prosenttia ja kuusikossa 62 prosenttia. Kuvassa 3 on esitetty koivikon, männikön ja kuusikon metsikkösadannan suhde vapaaseen sadantaan. Vapaan sadannan kasvaessa koivikon, männikön ja kuusikon metsikkösadanta kasvaa. Vapaan sadannan kasvaessa yli 12-13 mm metsikkösadanta ei enää kasva. Metsikkösadannan kasvu tarkoittaa puuston vedenpidätyksen pienentymistä. (Päivänen 1966 s. 17)



**Kuva 3.** Koivikon, männikön ja kuusikon metsikkösadannan suhde vapaan sadannan välillä. Kuvan perusteella voidaan nähdä vapaan sadannan kasvaessa metsikkösadanta kasvaa, mikä tarkoittaa vedenpidätyksen pienentymistä. (Päivänen 1966 s. 16)

## 2.3 Haihdunta

### 2.3.1 Haihdunnan prosessi

Luonnossa haihdunnalla tarkoitetaan nestemäisen tai kiinteässä olomuodossa olevan veden muuttumista vesihöyryksi ja kulkeutumista ilmakehään. Aivan kuten veden kiertokulku luonnossa, myös haihduntaprosessi vaatii energiaa. Luonnossa haihdunta saa energiansa muun muassa auringon säteilystä. Auringon lisäksi haihdunnan vaatima energia voi tulla prosessiin lämmön kulkeutumisena maasta, vedestä ja ilmasta. (RIL141 1982 s. 37-38; Vesiyhdistys r.y. 1986 s. 64-65)

Nestemäisen veden muuttuessa vesihöyryksi, vesimolekyylien etäisyys kasvaa, kun vesimolekyylit siirtyvät ilman ja veden välillä. Hydrologisessa mielessä haihdunta on vesimolekyylien nettosiirtymistä nestemäisestä olomuodosta ilmakehään veden ja ilman rajapinnan kautta. Jotta vesimolekyylit siirtyvät ilman ja veden välillä, täytyy vesimolekyylien liike-energian kasvaa suuremmaksi kuin vesimolekyyliä yhdistävien voimien. Yhdistävien voimien lisäksi liike-energian tulee voittaa vesimolekyylin pintajännitys. Osa ilman ja veden välillä siirtyneistä vesimolekyyleistä palaa takasin vedenpintaan ja osa kulkeutuu ylempiin ilmakerroksiin. (RIL141 1982 s. 37-38; Vesiyhdistys r.y. 1986 s. 64-65)

Jotta haihduntaa tapahtuisi, on vesihöyryn osapaineen oltava pienempi ilman ja veden rajapinnan yläpuolella kuin ilman ja veden rajapinnassa. Haihdunnan voidaan sanoa olevan suoraan verrannollinen vedenpinnan ja ilman välisen höyrypaineen paine-eroon. Vedenpinnan höyrypaineeseen vaikuttaa vahvasti sen lämpötila. Ilman höyrypaineeseen lämpötila vaikuttaa hieman eri lailla. Ilman höyrypaine voi vaihdella voimakkaasti, vaikka lämpötila pysyisi samana. Ilman höyrypaine ei voi kuitenkaan nousta korkeammaksi kuin vedenpinnan höyrypaine niiden ollessa samassa lämpötilassa. (RIL141 1982 s. 37-38)

Vedenpinnasta tapahtuva haihdunta vaatii siis tietynlaiset olosuhteet, jotta haihdunta olisi jatkuvaa. Vedenpinnan, josta haihdunta tapahtuu, on saatava lämpöenergiaa haihtumiseen kuluvan energian verran. Lisäksi haihtuvan veden on kulkeuduttava

kauemmas ilmakehään. Haihtuvan veden kulkeutuminen kauemmas ilmakehään tapahtuu turbulenssin, diffuusion ja konvektion välityksellä. (RIL141 1982 s. 38; Vesiyhdistys r.y. 1986 s. 64-65)

### **2.3.2 Haihdunnan käsitteet**

Luonnossa haihduntaa tapahtuu monissa eri olosuhteissa ja monilta erilaisilta pinnoilta. Kuten aiemmin on jo mainittu, haihtumista tapahtuu muun muassa vedenpinnasta mutta lisäksi haihtumista tapahtuu myös lumen pinnasta, maan pinnasta sekä kasvien ilmaraoista ja niiden pinnoilta. Veden haihdunnan luonnossa erottamiseksi toisistaan on otettu käyttöön erilaisia käsitteitä. (Hooli & Sallanko 1996 s. 60-61)

Evaporaatiolla tarkoitetaan veden haihduntaa ilmakehään maan, veden tai lumen pinnalta. Transpiraatio kuvaa kasvien elintoimintojen kautta tapahtuvaa haihduntaa. Transpiraatiossa haihtuva vesi kulkee kasvin juuri-varsi-lehtisysteemin läpi ilmakehään. Evapotranspiraatiolla tarkoitetaan veden kokonaishaihduntaa maa-alueilta. Todellinen haihdunta kuvaa veden haihtumista todellisuudessa joltain tietyltä alueelta. Kasvien pinnoille pidättäytyneen veden haihduntaa kutsutaan interseptiohaihdunnaksi. (Hooli & Sallanko 1996 s. 60)

Potentiaalisella evaporaatiolla tarkoitetaan veden haihtumista puhtaasta ja vapaasta vedenpinnasta. Potentiaalinen evapotranspiraatio kuvaa veden haihtumista laajalta tasaiselta alueelta, jota peittää tiheä ja vihreä kasvillisuus kun veden saanti ei rajoita haihduntaprosessia. Potentiaalinen evapotranspiraatio on yleismaailmallinen haihdunnan suure, jota voidaan käyttää verrattaessa haihdunnan olosuhteita eri maissa ja johon voidaan verrata todellista maa-alueilla tapahtuvaa kokonaishaihduntaa. Potentiaalinen evapotranspiraatio voidaan määrittää monella eri tavalla, kuten nettosäteilyn, kokonaissäteilyn tai keskilämpötilan avulla. Käytettäessä lämpötilaa potentiaalisen evapotranspiraation määrittämiseen, se soveltuu yli kuukauden mittaisten aikavälien laskentaan.

Potentiaallinen evapotranspiraatio on määritetty keskilämpötilan avulla käyttämällä yhtälöä (1).

$$PET = 58,93 * T_{>0}/12 \quad (1)$$

missä PET tarkoittaa potentiaalista evapotranspiraatiota [mm] ja  $T_{>0}$  tarkoittaa kuukauden keskilämpötilaa [°C] keskilämpötilan ollessa suurempi kuin 0. (Heikkinen ym. 2020 s. 3; RIL141 1982 s. 46; Hooli & Sallanko 1996 s. 60)

### 2.3.3 Haihdunnan muodot

Luonnossa tapahtuvan veden haihtuminen vapaasta vedenpinnasta sanotaan olevan luonteeltaan yksinkertaisin haihtumisen muoto. Haihtumiseen vapaasta vedenpinnasta vaikuttavat monet tekijät ja ne jakautuvat meteorologisiin, morfologisiin ja veden laatuun liittyviin tekijöihin. Yksittäisten tekijöiden vaikutukset haihduntaan vapaasta vedenpinnasta tunnetaan hyvin mutta niiden yhteisvaikutukset ovat varsin monimutkaiset. Tärkein meteorologinen tekijä vapaan vedenpinnan haihdunnassa on tulevan säteilyenergian määrä. Muita meteorologisia tekijöitä ovat ilman lämpötila, tuulen nopeus, ilman vesihöyryn höyrypaine sekä ilmanpaine. Ilman lämpötilaa ei voida suoraan käyttää haihdunnan selittävänä tekijänä, mutta sillä on vaikutusta ilman suhteelliseen kosteuteen. Suhteellinen kosteus vaikuttaa taas ilman kykyyn vastaanottaa haihtuvia vesimolekyyliä. Päiväsaikaan lämpötilan kohotessa suhteellinen kosteus on alhaisempi, mikä aiheuttaa ilmaan suuremman kyllästymisvajauksen ja yhtäaikaaisesti suuremman haihdunnan verrattuna yöaikaan. Morfologisia tekijöitä, jotka vaikuttavat veden haihduntaan vapaasta vedenpinnasta ovat vesialueen koko, syvyys ja muoto. Veden laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa veteen liuenneet suolat. (RIL141 1982 s. 38)

Haihdunta lumenpinnasta käsittää vesihöyryn poistumisen lumesta sekä evaporaation että sublimaation kautta. Evaporaation ja sublimaation erona on prosessissa kuluvan energian määrä, eli muodonmuutoslämpötilojen ero. Haihduntaan lumenpinnasta vaikuttavat samat meteorologiset tekijät kuin vedenpinnasta tapahtuvaan haihduntaan. Erona kuitenkin on, että lumen maksimilämpötila on 0 °C. Tämä tarkoittaa sitä, että

lumen pinnasta vesihöyryä voi haihtua vain, kun ilman vesihöyryn höyrypaine on pienempi kuin vesihöyryn kyllästymispaine nolla-asteessa, eli 6,11 millibaaria. Talviaikaan kovalla pakkasella lumenpinnan lämpötila on lähellä ilman lämpötilaa, jolloin höyrypaine-ero ei ole suuri. Höyrypaine-eron ollessa pieni, haihduntaa ei juuri tapahdu. Lumen pinnasta vesihöyryä haihtuu eniten selkeällä ilmalla, kun ilman lämpötila on lähellä nollaa. Metsissä puiden latvustoihin sataneen lumen haihduntaa tuulen lisäksi voimistaa havujen alhainen heijastavuus. (RIL141 1982 s. 43-44)

Kasvien elintoimintojen kautta tapahtuva haihdunta on haihdunnan muodoista monimutkaisin prosessi. Maassa kasvavat putkilokasvit imevät vettä maasta juuristollaan. Juuriston juurikarvat kasvattavat absorboitavan pinta-alan suureksi ja johtavat veden johtosolukoita pitkin kasvin yhteyttäviin osiin, mistä vesi poistuu ilmakehään transpiraation kautta. Vesi liikkuu kasvin sisällä vesipotentiaaalierojen vaikutuksesta kohti alempaa potentiaalia diffuusion avulla. Maaperässä vesi on sitoutuneena eri tavoin eri maakerroksiin. Maaperän kuivuessa vesi sitoutuu tiukemmin maaperään, mikä vaikeuttaa kasvien vedenottoa maaperästä. Kasvien osista, jotka ovat ilmassa, haihduntaa tapahtuu kolmella eri tavalla. Haihduntaa tapahtuu suoraan kasvien päällyskelmun läpi, lehtien ilmarakojen kautta ja kasvien korkkisolukerrosten läpi. Kasvien transpiraatio vaihtelee paljon eri kasvien välillä. (RIL141 1982 s. 45; Nieminen 2020)

Maa-alueilla haihdunta koostuu kesäisin interseptiohaihdunnasta, maanpinnan evaporaatiosta ja transpiraatiosta. Paljaasta maanpinnasta veden haihdunnan prosessi on melko samanlainen kuin haihdunta vapaasta vedenpinnasta. Suurin ero kuitenkin näiden kahden välillä on, että maa-alueilla vettä ei ole aina riittävästi tarjolla haihdunnan prosessille. Keväisin maan lämpeneminen sitoo energiaa. Syksyisin maan energiavaraston pienentyessä haihdunta kasvaa, mutta sen vaikutus haihduntaan on pienempi kuin keväisin. Sadannan jälkeen kasvien pinnoille pidättäytynyt vesi joutuu heti alttiiksi haihdunnalle. Sadannan jälkeen haihdunnan osa kasvien pinnoille pidättäytyneestä vedestä kasvaa. Kasvien pinnoilla oleva vesi on kuitenkin alttiina myös tuulen vaikutuksille, jolloin osa pidättäytyneestä vedestä voi vielä pudota maahan.

Suurin osa kasvien pinnoille pidättäytyneestä vedestä kuitenkin haihtuu interseptiohaihduntana ilmakehään. (RIL141 1982 s. 44-45)

Interseptiohaihdunnasta on tehty monia tutkimuksia. Herbts ym. (2008) tekemän tutkimuksen mukaan Etelä-Englannin sekalehtimetsissä keskimääräinen puun latvustoon pidättyneen veden haihdunnan suuruus oli hieman korkeampi, kun puissa ei ollut lehtiä. Tuona aikana tuulen nopeudet olivat suurempia ja puun aerodynamiikka on erilainen verrattuna aikaan, jolloin puissa oli lehdet. Yhdessä alhaisen keskimääräisen sademäärän kanssa, tämä vastapainotti vähentynyttä veden varastointikapasiteettia lehdettömänä aikana ja ylläpiti suhteellisen suurta latvuston vedenpidätyksen häviötä vuoden aikana. Kun puissa oli lehdet, puun latvustoon pidättyneen veden häviö oli 29 prosenttia vapaasta sadannasta ja aikana kun puissa ei ollut lehtiä latvustoon pidättyneen veden häviö oli 20 prosenttia vapaasta sadannasta. (Herbts ym. 2008)

Gerritsin (2010) tekemän tutkimuksen mukaan luxemburgilaisessa pyökkipuumetsässä haihdunta latvustoon pidättäytyneestä vedestä oli noin 15 prosenttia vapaasta sadannasta, kun puissa oli lehdet huhtikuusta syyskuuhun, verrattuna talviajan 7 prosenttiin. Tutkimuksessa havaittiin myös selkeä vuodenaikaisvaihtelu veden varastoinnin kapasiteetissa. Talvella veden varastoinnin kapasiteetti oli keskimäärin noin 0,4 mm ja kesällä, kun puissa on lehdet, 0,9 mm. Grelle ym. (1996) tekemän tutkimuksen mukaan kasvukaudella, toukokuusta lokakuuhun, interseptiohaihdunta Ruotsin Norundan kuusi- ja mäntymetsässä oli 74 mm, joka oli 30 prosenttia sadannasta. Latvuston veden varastointikapasiteetti latvuston vesitaseella määriteltynä oli 3,3 mm ja kun verrattiin metsikkösadantaa ja sadantaa varastointikapasiteetti oli 1,5 mm. (Gerrits 2010 s. 40, 44; Grelle ym. 1996)

## 2.4 Suomen sääolosuhteet

Suomen ilmasto on ilmastotyyppiltään väli-ilmasto, joka on sekoitus meri-ilmastoa ja mannerilmastoa. Suomen säähän vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa sijainti, tuulen

suunta ja säähäiriöiden eli korkea- ja matalapaineiden sijoittuminen. Suomi sijoittuu maantieteellisesti korkeille leveysasteille suuren mantereen reunaan. Ilmavirtausten osalta Suomi sijoittuu keskileveysasteiden länsituulten vyöhykkeelle, trooppisten ja polaaristen ilmamassojen raja-alueille. Trooppisten ja polaaristen ilmamassojen raja-alueille varsinkin talvella säätyypit vaihtelevat nopeasti. Yleensä ilmamassat virtaavat Suomeen lounaan suunnasta. (Ilmatieteenlaitos 2020a)

Suomessa keskilämpötila on monta astetta korkeampi, kuin Suomen kanssa samalla leveyspiirivyöhykkeellä sijaitsevalla manneralueella. Grönlantiin ja Siperiaan verrattuna talvikuukausina eroa on jopa 20-30 astetta. Golf-virran sekä Pohjois-Atlantin lämpimän merivirran lisäksi Suomen ilmastoaa lämmittää Itämeri lahtineen sekä monet sisävesistöt. Suomessa vuoden kylmin ajankohta on yleensä tammikuun loppupuolella, saaristo- ja rannikkoalueilla kylmin ajankohta sijoittuu kuitenkin yleensä vasta helmikuun alkuun meren hitaan jäätymisen vuoksi. Kylmintä on Lapissa ja Itä-Suomessa, missä alimmat lämpötilat vaihtelevat -45 ja -50 asteen välillä. Muualla Suomessa talven alimmat lämpötilat vaihtelevat -35 ja -45 asteen välillä, paitsi rannikko- ja saaristoalueilla alimmat lämpötilat vaihtelevat -25 ja -35 asteen välillä. Suomessa vuoden lämpimin ajankohta on yleensä heinäkuun lopussa koskien koko Suomea, korkeimmat lämpötilat vaihtelevat +32 ja +35 asteen välillä manneralueilla. Vuoden keskilämpötila vaihtelee Etelä-Suomen +5 asteen ja Pohjois-Lapin -2 asteen välillä (kuva 4). (Ilmatieteenlaitos 2020a)

Suomen vuosittainen sademäärä vaihtelee 500 millimetrin ja 700 millimetrin välillä (kuva 4). Eniten vettä sataa sisämaassa etelä- ja keskiosissa maata ja vähiten Lapissa. Ajallisesti vähiten vettä sataa kevätkuukausina ja eniten yleensä heinä-elokuussa. Syksyä kohden sademäärät alkavat hiipua, kuitenkin sadepäiviä on syksyllä ja talvella useammin. Kesän aikana sadepäiviä on normaalisti vähiten kuukautta kohden, mutta sademäärät vuorokauden aikana ovat kesän kuurosateissa enimmillään. (Ilmatieteenlaitos 2020a)

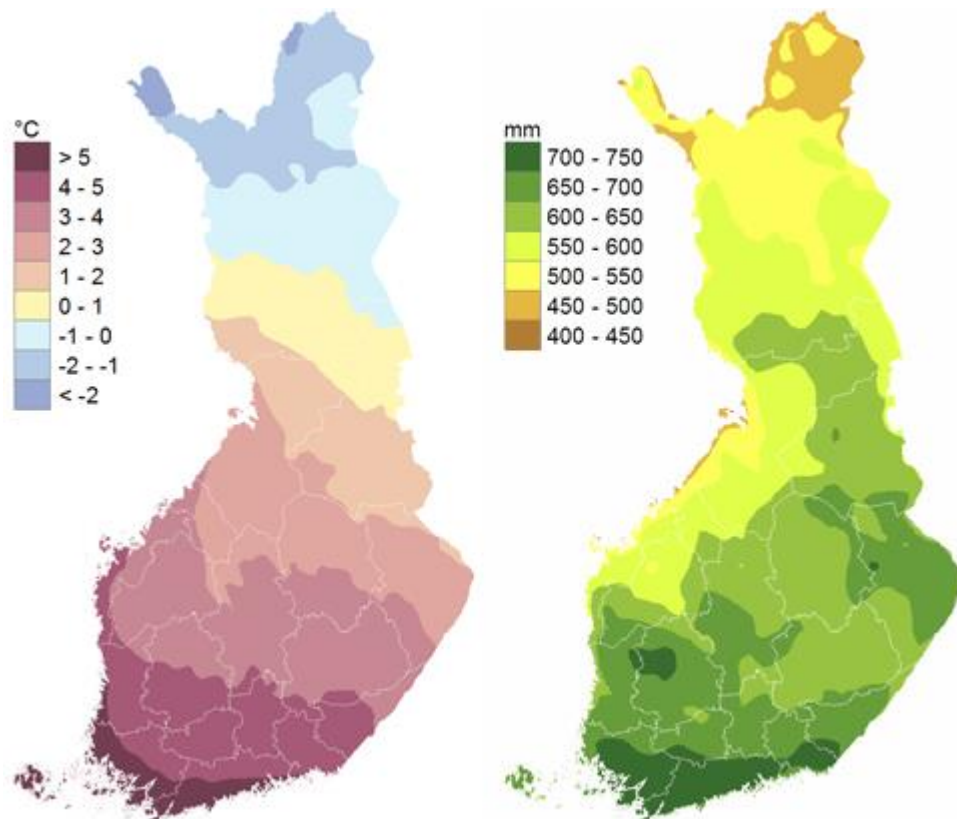
Talvi Suomen Lapissa ja Koillismaalla kestää yleensä noin seitsemän kuukautta ja lumipeite peittää maata yli puolet vuodesta. Pohjoisesta etelään ja lounaaseen tultaessa

lumipeitepäivien määrä vähenee vähitellen. Lounaisrannikolla lumipeite peittää maata noin 3-4 kuukautta vuodesta. Paksuimmillaan lumipeite on kevättalvella, yleensä maaliskuussa mutta Lapissa vasta huhtikuussa. Enimmillään lunta on Lapissa, jopa yli 1,5 metriä ja etelässäkin lumisimpina talvina lumen syvyys voi olla metrin. (Ilmatieteenlaitos 2020a)

Haihdunta Suomessa vaihtelee maan pohjois-etelä-akselilla. Etelä-Suomessa on aluehaihdunnan arvioitu olevan vuosittain 400 ja 500 millimetrin välillä johtuen alueen järvisyydestä. Järvialueiden haihdunnan on arvioitu vaihtelevan vuosittain 500 ja 600 millimetrin välillä. Järvialueiden vuorokauden aikana tapahtuva haihdunta on kesäaikaan 3 mm. Pohjois-Suomessa haihdunta on selvästi Etelä-Suomea vähäisempää ja vaihtelee 150 ja 250 millimetrin välillä. (Leppäranta ym. 2017 s. 80)

Suomen ilmaston arvioidaan muuttuvan ilmastonmuutoksen seurauksena. Ilmastonmuutoksen vaikutuksista on tehty laskelmia ilmastomallien avulla. Suomessa ilmastonmuutoksen on arvioitu vaikuttavan ilmastoon muun muassa lämpötilan kohoamisella, sademäärien kasvulla ja lumipeitteen sekä roudan vähenemisellä. Ilmastonmuutos tulee näkymään esimerkiksi talvilämpötilojen kohoamisella ja kasvukauden pidentymisellä. Talvella sateiden arvioidaan lisääntyvän ja yhä useammin satavan vetenä kuin lumena. Kesällä rankkasateiden arvioidaan voimistuvan keskimääräisiä sateita voimakkaammiksi. Lumipeiteajan, lumen vesiaron ja lumen paksuuden arvioidaan vähenevän. (Ilmatieteenlaitos 2017)





**Kuva 4. Suomen ilmastoa kuvaavat vertailukauden 1981-2010 keskiarvot. Kuvassa vasemmalla on esitetty keskilämpötila [°C] ja oikealla sademäärä [mm]. Lämpötila vaihtelee Etelä-Suomen +5 asteen ja Pohjois-Lapin -2 asteen välillä. Sademäärä vaihtelee 500 mm ja 700 mm välillä. (Ilmatieteenlaitos 2019b)**

## 2.5 Suomen metsät

Metsät peittävät Suomen pinta-alasta yli 70 prosenttia. Vuoteen 1950 verrattuna metsien vuotuinen kasvu on noussut noin 80 prosenttia ja puuvaranto noin 43 prosenttia. Suomen metsävarat lisääntyvät jatkuvasti ja esimerkiksi valtakunnan metsien 12. inventoinnin (VMI12) vuosien 2014 ja 2017 välisen ajan mittaustiedoilla puuston vuotuinen kasvu oli jopa 107 miljoonaa kuutiometriä. Suomen metsät ovat havupuuvaltaisia. Männyn osuus puuvaroista on noin 50 prosenttia ja kuusen noin 30

prosenttia. Koivun osuus puuvaroista on noin 16 prosenttia. (Luonnonvarakeskus 2013c; Luonnonvarakeskus 2018)

Puulajin ominaisuuksilla on tärkeä rooli, kun tarkastellaan puun latvustoon pidättyvän ja latvustosta haihtuvan veden määrää. Interseptioon ja interseptiohaihduntaan vaikuttavia puulajin ominaisuuksia ovat muun muassa latvuston muoto sekä lehtien ja neulasten määrä ja esiintyminen. Esimerkiksi havupuiden lehtipinta-alan ollessa suurempi kuin lehtipuiden, havupuut voivat varastoida enemmän vettä, sillä lehtipuilla ei ole talvella lainkaan lehtipinta-alaa (Gerrits 2010 s. 5; Nieminen 2020).

Kuusella on pylväsmäinen ja ylöspäin kapeneva runko (kuva 5). Kuusen latvaosa on kartiomainen ja kuusen oksat muodostavat sivuille tai alaspäin kaartuvia säännöllisiä kiehkuroita. Säännöllisten oksien seassa esiintyy myös välioksia. Toisin sanoen kuusen kasvutapa on varsijatkoinen eli monopodiaalinen, eli sillä on pysyvä pituuskasvua selkeästi johtava kärkiverso, joka johtaa kasvun edetessä suoran pääranan muodostumiseen. Sivuersoista muodostuvat oksat kasvavat runkoon nähden kohtisuoraan sivuille tai viistosti hieman alaspäin. Sateen rungonmyötäinen valunta eli runkovalunta on kuusella latvusmuodon takia vähäistä. Oksien muoto vaihtelee suuresti, mutta kuusen latvaosa säilyttää muotonsa myös kasvaessa väljässä tilassa. Oksien karsiutuminen on hidasta, joten kuusen latvaosa voi muodostua pitkäksi. Kuusen juuristo kasvaa maan pinnassa, joten toisin kuin männyllä, puiden ankkuroituminen on heikkoa. Kuusen tummanvihreät, päältä hieman litistyneet neulaset ovat 1-2 cm pituisia. Ne kiinnittyvät kampamaisesti versoihin. Neulasten ja versojen muoto vaihtelee suuresti. Latvan yläosassa yleensä nelikulmaiset neulaset ovat kiinnittyneinä tasaisesti eri puolille versoa ja latvan alaosassa päältä litistyneet neulaset ovat yleensä kiinnittyneinä version sivuille. Kuusella on yleensä 5-10 neulasvuosikertaa. Neulasten ja versojen muodon vaihdellessa latvuston eri osissa, latvuston alaosan oksat muodostavat vaakatasossa olevia levyjä ja yläosassa versot ja neulaset sojottavat eri suuntiin. Kuusen kiiltäväsuomuiset silmut ovat muodoltaan päästään teräviä ja pieniä. (Kellomäki 2005, s.77; Kärkkäinen 2007; Nieminen 2020)



**Kuva 5. Kuvassa vasemmalla on esimerkki kuusesta, josta voidaan nähdä kuusen rakenne. Kuvassa oikealla on osa kuusen oksaa, josta on nähtävissä kuusen neulasten muoto ja niiden kiinnittyminen versoon. (Puuproffa 2020a)**

Männyllä on pysty, hitaasti ylöspäin kapeneva runko (kuva 6). Männyn oksat muodostavat säännöllisiä oksakiekuroita, joista muodostuu soikion muotoinen latvus. Myös männyn kasvutapa on kuusen tavoin varsijatkoinen eli monopodiaalinen, joten runkovalunta on myös männyllä vähäistä. Männyn oksat ovat heikkoja ja latvuston alaoksat karsiutuvat helposti. Kasvupaikan mukaan, esimerkiksi tuoreilla kasvupaikoilla, männyn runko voi olla nopeasti kapeneva ja oksat voivat kasvaa paksuiksi. Männyn juuret kasvavat maahan vaakasuorasti, jolloin männyn juuristo on luja ja tukeva. Lajittuneilla maalajeilla männyn juuristoa tukee lisäksi pystysuora paalujuuri. Männyn kierteiset neulaset ovat jäykkiä, 3-7 cm pituisia ja kiinnittyvät pareittain kääpiöversoihin. Normaalisti männyssä on 3-4 neulaskertaa ja vanhimmat neulaset voivat olla 5-7 vuoden ikäisiä. Männyn silmut ovat pukean muotoisia, pihkaisia ja väriltään ruskeita. (Kellomäki 2005, s.75; Kärkkäinen 2007; Nieminen 2020)



**Kuva 6. Kuvassa vasemmalla on esimerkki männystä, josta voidaan nähdä männyn rakenne. Kuvassa oikealla on osa männyn oksaa, josta voidaan nähdä männyn neulasten muoto sekä niiden kiinnittyminen neulasparina versoon. (Puuproffa 2020b)**

Koivulla on pysty, hitaasti kapeneva runko (kuva 7). Koivun kasvutapa on haarajatkoinen eli sympodiaalinen. Alkuperäisestä kärkisilmusta kasvuun lähteneen rangen kehitys pysähtyy ja seuraavan vuoden pituuskasvu käynnistyy jostakin rangen ylimmistä silmuista. Myös uuden rangen pituuskasvu päättyy jossain vaiheessa, niin että joku muu ylimmistä kärkiversoista siirtyy johtamaan pituuskasvua. Kasvutavan seurauksena oksat kiinnittyvät epäsäännöllisesti eri puolille runkoa ja näin koivun rungosta muodostuu monihaarainen ylöspäin siirottava latvus, jossa myös oksat kasvavat ylöspäin viistoon. Latvusto johtaa näin hyvin sadevettä alaspäin oksistosta runkoon ja edelleen runkovaluntana maahan. Koivu ankkuroituu lujasti maahan laajalle ulottuvan vaakaan ja pystyyn kasvavan juuriston avulla. Koivun lehdet ovat muodoltaan kolmiomaisia, pitkäkärkisiä, kapeita ja suippumaisia. Koivulla on vain yksi lehtivuosikerta. Niiden pinta on kalju ja lujaa solukkoa. Lehden laita on toiskertaisesti hammaslaitainen.      Versot      ovat      muodoltaan      nystyisiä, kärjestä

hentoja, kaljuja sekä riippuvia. (Kellomäki 2005, s.79-80; Kärkkäinen 2007; Nieminen 2020)



**Kuva 7. Kuvassa vasemmalla on esimerkki koivusta, josta voidaan nähdä koivun rakenne. Kuvassa oikealla on osa koivun oksaa, josta voidaan nähdä lehtien muoto ja niiden kiinnittyminen oksiin. (Puuproffa 2020c)**

Ilmastonmuutoksen on arvioitu vaikuttavan Suomen metsiin muun muassa kuusipuiden vähentymisellä. Etelä-Suomessa kuuselle heikkenevien kasvuolosuhteiden myötä, vuosisadan lopussa kuusipuita arvioidaan olevan vain 8 prosenttia nykyisen 45 prosentin sijaan. Kuusipuiden väistyttyä lehtipuut yleistyvät. Lisäksi arvioidun roudan väheneminen ja myrskytuulien lisääntyminen voivat lisätä metsien tuhoja. Roudan vähetessä puut eivät voi ankkuroitua juurineen routamaahan, vaan myrskytuulien vallitessa puut kaatuvat aiempaa helpommin. (WWF 2020)

### 3 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

#### 3.1 ICP Forests - seurantaohjelma

ICP metsäohjelma seuraa metsien kuntoa Euroopassa. Se on yksi maailman suurimmista ympäristön biologisen seurannan verkostoista. Seurantaohjelma on perustettu 1985 ja siihen kuuluu 42 maata Euroopasta sekä Euroopan ulkopuolelta. ICP metsäohjelma perustuu kansainväliseen ilman epäpuhtauksien kaukokulkeutumista koskevaan sopimukseen (CLRTAP). Seurantaohjelman tavoitteena on tuottaa tietoa metsäekosysteemien tilasta ja sen yhteydestä ilman epäpuhtauksiin, ilmastonmuutokseen sekä luonnon monimuotoisuuteen. Seurantaohjelma tarkkailee metsien kuntoa Euroopassa kahdella eri tasolla. (ICP Forests 2011a; ICP Forests 2011b)

ICP metsäohjelman taso I kattaa laaja-alaisen sekä systemaattisen seurannan verkoston. Tason I havaintoalojen verkosto on perustettu vuonna 1985. Tämä yleiseurooppalainen 16 km x 16 km verkosto on sisältänyt kaikkiaan noin 6000 havaintoalaa. Havaintoaloilla arvioidaan puuston latvuskuntoa neulas- tai lehtikatona, värimuutoksina sekä hyönteis-, sieni- ja abioottisten (mm. tuuli-, pakkas-, kuivuus) tuhojen esiintymisen perusteella. (Luonnonvarakeskus 2013a)

ICP metsäohjelman taso II kattaa vain rajatun määrän intensiivisen seurannan alueita. Tason II seurantaohjelma on perustettu vuonna 1994. Se on intensiivisen seurannan taso, johon kuuluu noin 500 tarkoin valittua metsäekosysteemiä Euroopassa. Tason II seurantaohjelmassa tutkitaan metsän ekosysteemin tilan ja ihmisen toiminnan välisiä syy-seuraussuhteita sekä metsän ekosysteemin tilan ja luonnollisten stressitekijöiden välisiä syy-seuraussuhteita. Se tarjoaa lisäksi päättäjille tarvittavaa tietoa muun muassa ilmastonmuutoksesta, luonnon monimuotoisuuden säilyttämisestä sekä metsien kestävästä hyötykäytöstä. (Luonnonvarakeskus 2013a)

### 3.1.1 ICP Forests - seurantaohjelma Suomessa

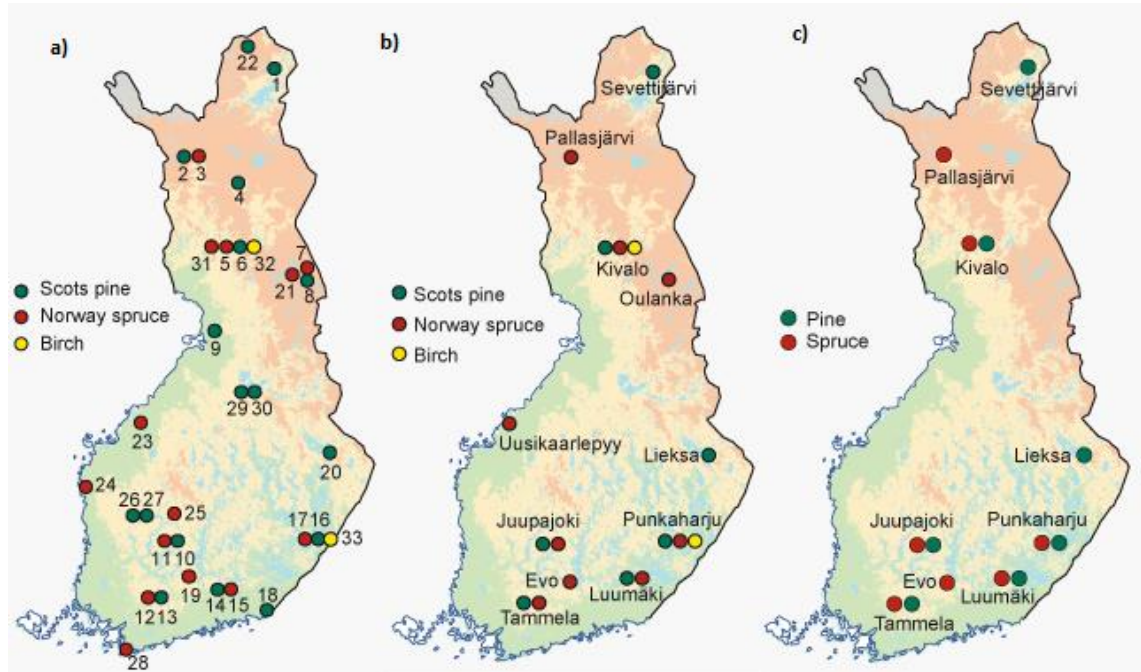
Suomi on osallistunut tason I metsien seurantaohjelmaan vuodesta 1985. Aiemmin Metsäntutkimuslaitos (Metla) tuotti vuosittain tiedot metsien latvuskunnosta käyttämällä ICP metsäohjelman harmonisoituja menetelmiä. Vuonna 2009 puiden kunnan seuranta siirtyi osaksi valtakunnan metsien inventointia (VMI), jolloin havaintoalat korvattiin uudella verkostolla. ICP metsäohjelman taso I:n seuranta loppui Suomessa kokonaan vuonna 2012. (Luonnonvarakeskus 2014a)

Suomi on osallistunut tason II metsien seurantaohjelmaan vuodesta 1995. Vuoteen 1997 mennessä havaintoaloja oli Suomessa 31 (kuva 8). Havaintoaloista 27 sijaitsi kivennäismaalajien alueilla ja 4 suoalueilla. Havaintoaloista 17 sijaitsi mäntymetsien alueilla ja 14 kuusimetsien alueilla. Vuonna 2005 kahden kuusivaltaisen havaintoalan seuranta lopetettiin, numerot 24 ja 28. Verkostoa täydennettiin kahdella koivikkoalalla numerot 32 ja 33. Tason II havaintoalat ovat talousmetsiä, lukuun ottamatta neljää luonnontilaista metsää, jotka kuuluivat myös ympäristön yhdennetyn seurannan ohjelmaan (ICP Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems) (Luonnonvarakeskus 2014b)

Vuosina 1995-1997 seurantametsiin perustettiin 12 sääasemaa. Sääasemilla mitattavia suureita olivat muun muassa ilman lämpötila ja kosteus sekä latvuston sisä- että ulkopuolelta, sadanta sekä tuulen suunta ja nopeus. Sääasemat lakkautettiin vuonna 2011, jonka jälkeen seurantametsien meteorologiset tiedot tulevat läheisiltä Ilmatieteenlaitoksen mittauspisteiltä. Vuonna 2009 seurantametsiä oli enää 18 (kuva 8). (Luonnonvarakeskus 2014b)

Vuodesta 2011 vuoteen 2017 tason II havaintoaloja oli Suomessa 14. Havaintoaloista 7 on kuusikoita ja loput 7 männiköitä (kuva 8). Useimmat havaintoalat ovat talousmetsiä. Lieksa, Evo, Pallasjärvi sekä vuoteen 2010 seurannassa ollut Oulanka ovat luonnontilaisia eri-ikäisrakenteisia metsiä, jotka kuuluvat myös Ympäristön yhdennetyn seurannan (ICP IM) – ohjelmaan. Tason II seurantametsissä metsien ekosysteemin tilaa tutkitaan monella eri tavalla. Seurantametsissä seurataan muun muassa ilmansaasteiden

kerrostumista, ravintoaineiden huuhtoutumista, lehti- ja neulaskatoa sekä aluskasvillisuutta. (Luonnonvarakeskus 2014b; Nieminen 2020)



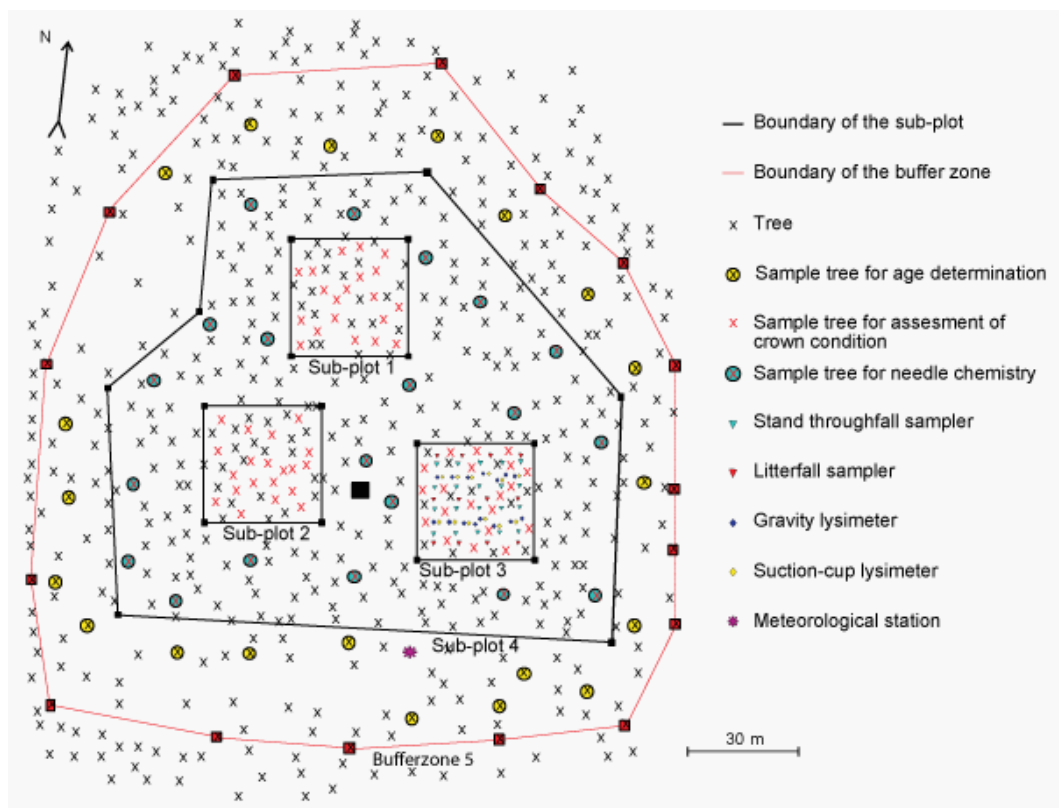
**Kuva 8. ICP-metsäohjelman tason II havaintoalat a) vuosina 1997-2008 b) vuosina 2009-2010 ja c) vuonna 2011. Luumäen alojen seuranta päättyi vuonna 2013, Kivalon ja Punkaharjun alojen vastaavasti vuonna 2018. (Luonnonvarakeskus 2014b; Nieminen 2020)**

### 3.1.2 Seurantametsät

Havaintoala sisältää kolme 30 x 30 metrin kokoista aluetta. Alueet ovat noin 5-10 metrin päässä toisistaan. Yhdessä alueista muun muassa kerätään metsikkösadantaa, maavettä ja kariketta sekä otetaan näytteitä maaperästä ja neulasista. Toinen alue on kasvillisuustutkimuksia varten. Kolmannella alueella mitataan puiden kasvua. Havaintoaloissa seurattavia suuria puiden osalta ovat muun muassa puulaji, korkeus, latvustopeite sekä elävän latvuston pituus. Kolmea neliönmuotoista aluetta ympäröi



vaippavyöhyke. Vaippavyöhykkeen ympäröi puskurivyöhyke. Vaippavyöhykkeen ja puskurivyöhykkeen leveys vaihtelee 10 metristä 30 metriin. Havaintoalan keskipiste, tutkimusalueiden kulmat sekä vaippavyöhykkeen ulkoraja on merkitty puisilla merkintäkepeillä. Havaintoalan sadannan keräimet ja niiden sijoittuminen ovat kuvattuina Sadannan keräimet – osiossa. (Luonnonvarakeskus 2014b)



**Kuva 9. Esimerkki havaintoalasta. Kuvassa oikealla merkinnät ylhäältä alas; tutkimusalueen raja, puskurivyöhykkeen raja, puu, näytteenottopuu (iän määrittäminen), näytteenottopuu (latvustotutkimus), näytteenottopuu (neulaskemia), läpisydänkeräin, näytteenotin neulasten ja lehtien pudotukselle, vajavesilysimetri, alipainelysimetri ja sääasema (Luonnonvarakeskus 2014b).**

Vuonna 2010 osassa seurantametsiä on tutkittu puiden latvustopeittävyyttä. Puuston latvuston pinta-ala voidaan määrittää puuston latvuston peittämää pinta-alaa kohtisuoraan suhteessa metsän maan pinta-alaa kohti. Tutkimuksessa puuston latvustopeittävyys on määritelty kahdella eri tavalla. Puuston latvuston pinta-alassa on otettu huomioon puuston latvaosa kokonaisuudessaan. Puuston latvuston tehollisessa pinta-alassa on otettu huomioon lehdet, latvaosat sekä runko, ei puuston latvustossa olevia aukkoja. Tutkimuksen tuloksena männyn keskimääräinen latvustopeittävyys tutkittavissa seurantametsissä on 59 % ja tehollinen latvustopeittävyys on noin 40 %. Kuusen keskimääräinen latvustopeittävyys tutkittavissa seurantametsissä on 71 % ja tehollinen latvustopeittävyys on noin 59 %. Koivulla keskimääräinen latvustopeittävyys tutkittavissa seurantametsissä on 81 % ja tehollinen latvustopeittävyys noin 63%. (Luonnonvarakeskus 2013b)

### **3.1.3 Sadannan keräimet**

ICP Forests – seurantaohjelmalla on yhtenäiset ohjeet havaintoalojen säähavaintojen mittaamiselle. Yhtenäiset menettelytavat ovat tärkeitä, jotta mitatusta aineistosta saadaan vertailukelpoista. Sadannan mittaaminen seurantametsissä on pakollista. Sadanta-aineistoa käytetään muun muassa ilman epäpuhtauksien laskeumien tutkimuksissa. Sadannan mittaamisen tiheys on useita viikkoja, mutta jos halutaan arvioida kokonaishaihduntaa ja saada tietoa veden pidättäytymisestä on suositeltavaa mitata sadantaa useammin. Sadanta ilmoitetaan yhteenlaskettuna lukuna millimetreissä. (ICP Forests 2016 s. 4, 9)

Sadantaa mitataan avoimella alueella sekä metsän sisällä. Metsien sisällä läpisadantaa mitataan käyttämällä 20 sadannan keräintä ja 6-10 lumen keräintä. Sadannan keräimet ovat suppilon mallisia, joiden halkaisija on 20 cm. Lumen keräimien suuaukon halkaisija on 36 cm. Keräimet ovat sijoitettu systemaattisesti havaintoalan 30 x 30 m alueille. Keräimien vesimäärät on mitattu 2-4 viikon välein ympäri vuoden. Kesällä keräimien vesimäärät on mitattu 2-4 viikon välein ja talvella 4 viikon välein. (Lindroos ym. 2008 s. 24; Lindroos 2020)

Avoimen alueen sadannan keräimet ovat samanlaisia kuin metsikkösadannan keräimet mutta keräimien määrä on eri. Avoimella alueella sadannan keräimiä on kolme ja lumen keräimiä on kaksi. Avoimen alueen keräimet sijaitsevat havaintoalan läheisyydessä, korkeintaan 200 metrin päässä havaintoalasta. Avoimella paikalla lähimpien puiden etäisyys on kyseisten puiden pituus kertaa kaksi. (Lindroos ym. 2008 s. 24; Lindroos 2020)

Kuusen ja männyn runkovalunta on hyvin vähäistä, vähemmän kuin 0,3 % metsikkösadannan määrästä. Kuusen ja männyn runkovalunnan osuuden ollessa hyvin pieni metsämaahan tulevasta kokonaissademäärästä, ICP Forests metsäohjelman keruu ei huomioi runkovaluntaa. (Starr 1995; Lindroos 2020)

### 3.2 Tutkimuksessa käytettävä aineisto

Tutkimuksessa käytetty mitattu aineisto on saatu käyttöön Luonnonvarakeskukselta. Seuranta-aineistosta löytyy tiedot muun muassa sadannan mittauksessa käytetyistä keräimistä, kuten keräimien numerot, tyyppi, korkeudet ja keräimien pinta-alat. Aineistosta löytyy myös tietoja sadannan mittausalueesta, kuten havaintoalan numero ja koordinaatit. Aineistosta löytyy lisäksi tiedot sadannan mittausajasta, kuten sadannan keräysjakso, keräysjakson aloituspäivämäärä ja keräysjakson lopetuspäivämäärä. Keräysjaksot ovat keskimäärin noin 4 viikon mittaisia. Aineistossa sadanta on esitetty millimetreinä.

Tutkimuksessa käytettyjä tietoja seuranta-aineistosta ovat muun muassa keräysjakson aloituspäivämäärä, keräysjakson lopetuspäivämäärä, koealan numero sekä keräimen 1 ja keräimen 2 mitatut sademäärät. Seuranta-aineistossa keräin 1 on metsikkösadannan keräin ja keräin 2 avoimen paikan keräin. Kaikki seurantaohjelmaan kuuluvat havaintoalat ovat numeroituja. Havaintoalan numero kertoo missä havaintoala sijaitsee, esimerkiksi havaintoala numero 1 sijaitsee Sevettijärvellä. Sadantaa on mitattu yhteensä

28 havaintoalassa, joista 14 on mäntymetsää, 12 on kuusimetsää ja 2 on koivumetsää. Keräimien sademäärien mittaustiheys vaihtelee vuosien 1995 ja 2014 välillä.

Kirjallisuuden ja Luonnonvarakeskukselta saadun mitatun aineiston lisäksi tutkimuksessa on käytetty Ilmatieteenlaitoksen internet-sivuilta saatavissa olevaa avointa dataa (Ilmatieteenlaitos 2020). Avoin data sisältää lämpötilan ja sadannan arvoja, jotka ovat mitattu päivittäin. Avointa dataa on käytetty työssä potentiaalisen evapotranspiraation, maksimisadannan ja kokonaissadannan määrittämiseen alueittain.

### 3.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa käytetyn mittausaineiston käsittelyyn on käytetty pääasiassa Excel – taulukkolaskentaohjelmaa. Aineiston käsittelyssä on hyödynnetty myös R – laskentaohjelmaa. Excel – taulukkolaskentaohjelmalla mittausaineistosta on tehty laskelmia ja kuvaajia. Laskelmien tulokset ja tehdyt kuvaajat on esitetty Tutkimuksen tulokset – osiossa.

Työssä on tutkittu männyn, kuusen ja koivun latvuston vedenpidätystä seuranta-aineiston avulla. Työssä puulajikohtainen keskimääräinen latvuston vedenpidätys on laskettu prosentteina (2) ja millimetreinä (3) havaintoaloittain.

$$\text{Latvuston vedenpidätys [\%]} = \frac{\text{keräin 1} - \text{keräin 2}}{\text{keräin 2}} \quad (2)$$

$$\text{Latvuston vedenpidätys [mm]} = \text{keräin 2} - \text{keräin 1} \quad (3)$$

missä keräin 1 tarkoittaa metsikkösadannan keräintä [mm] ja keräin 2 tarkoittaa avoimen paikan keräintä [mm]. Havaintoaloja oli 28, joten latvuston vedenpidätyksestä puulajeittain laskettiin keskiarvo, jotta tulokseksi saatiin keskimääräinen latvuston vedenpidätys prosentteina ja millimetreinä.

Tulosten merkittävyyttä on testattu Mann-Whitneyn -testillä, missä nollahypoteesina oli, että otokset eivät eroa toisistaan ja vaihtoehtoisena hypoteesina oli, että otokset eroavat toisistaan. Laskelmien lisäksi on tehty piste-viivakuvaaja, missä vaaka-akselilla on aika vuosina ja pystyakselilla keskimääräinen kuusen, männyn ja koivun latvuston vedenpidätys. Piste-viivakuvaajan trendiä on testattu Mann-Kendallin trenditestin avulla, missä nollahypoteesina oli, että aikajanalla ei ole trendiä ja vaihtoehtoisena hypoteesina, että aikajanalla on trendi. Trendin voimakkuutta on mitattu Sen's slope – arvolla.

Työssä on myös tutkittu vaikuttavatko puun latvuston pinta-ala, sadanta ja potentiaalinen evapotranspiraatio puun latvuston vedenpidätykseen. Maksimisadanta, kokonaissadanta ja potentiaalinen evapotranspiraatio on laskettu keräysjaksottain, keräysjaksot olivat keskimäärin 4 viikkoa. Maksimisadantana on käytetty keräysjakson suurinta arvoa. Kokonaissadanta (4) ja potentiaalisen evapotranspiraatio (5) ovat määritelty seuraavalla tavalla:

$$Kokonaissadanta = \frac{Sadanta\ MAX}{Sadanta\ MEAN} \quad (4)$$

missä kokonaissadanta tarkoittaa keräysjakson päiväsadannan summaa [mm], sadanta MAX tarkoittaa keräysjakson maksimisadantaa [mm] ja sadanta MEAN tarkoittaa keräysjakson keskimääräistä sadantaa.

$$PET = 58,93 * T_{>0} / 12 \quad (5)$$

missä PET tarkoittaa potentiaalista evapotranspiraatiota [mm] ja  $T_{>0}$  tarkoittaa keräysjakson keskilämpötilaa [°C] keskilämpötilan ollessa suurempi kuin 0. (Heikkinen ym. 2020 s. 3)

Yksittäisen muuttujan ja puuston latvuston vedenpidätyksen välistä riippuvuutta on tutkittu tekemällä hajontakuvaajia, joissa vaaka-akselilla on yksittäisen muuttujan arvot ja pystyakselilla puun latvuston vedenpidätyksen arvot. Hajontakuvaajien lisäksi on laskettu korrelaatio muuttujan ja puuston latvuston vedenpidätyksen välillä. Latvuston

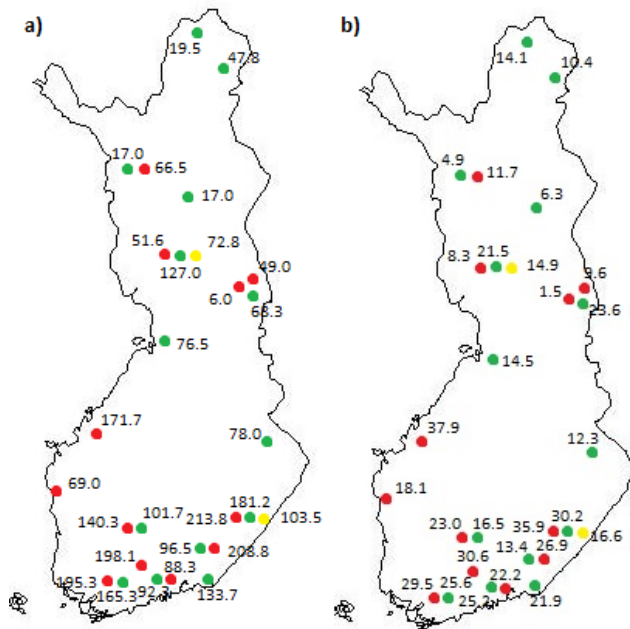
pinta-alan ja latvuston vedenpidätyksen välisten korrelaatioiden tilastollista merkittävyyttä on testattu Pearsonin korrelaatiotestillä.

Lisäksi työssä on tutkittu vuodenajan vaihtelun vaikutuksia puun latvuston vedenpidätykseen. Vuodenajan vaihtelun vaikutuksia on tutkittu laatikko-janakuvion avulla. Laatikko-janakuviossa on esitetty kaikki mittausaineiston latvuston vedenpidätyksen arvot puulajeille kuukausittain.

## 4 TUTKIMUKSEN TULOKSET

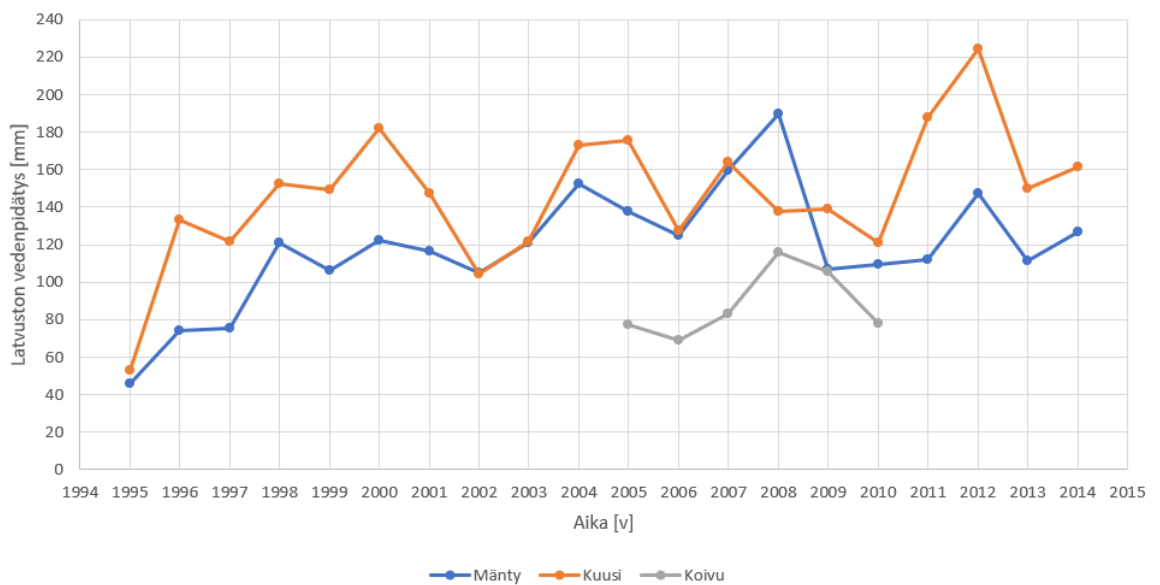
### 4.1 Tulokset

Tulosten perusteella kuusen keskimääräinen latvuston vedenpidätysprosentti oli noin 25 % ja 144 mm, männyn 19 % ja 113 mm ja koivun 16 % ja 88 mm. Mann-Whitney -testin tuloksena kuusen ja männyn välinen p-arvo oli 0,005, kuusen ja koivun 0,001 ja männyn ja koivun 0,023. Testin perusteella voidaan todeta, että erot kuusen, männyn ja koivun latvuston vedenpidätyksen välillä ovat tilastollisesti merkittäviä. Maantieteelliset erot kuusen, männyn ja koivun latvuston vedenpidätyksen välillä voidaan havaita kuvasta 10: Pohjois-Suomessa kuusen, männyn ja koivun latvuston vedenpidätys oli yleensä vähäisempää kuin Etelä-Suomessa.



**Kuva 10. Keskimääräinen latvuston vedenpidätys a) [mm] ja b) [%] havaintoaloittain. Puulajit; punainen = kuusi, vihreä = mänty ja keltainen = koivu. Kuvasta voidaan havaita, että puuston latvuston vedenpidätys on suurempaa Etelä-Suomessa kuin Pohjois-Suomessa**

Männyn, kuusen ja koivun keskimääräinen latvuston vedenpidätyksen vuosittainen vaihtelu on esitetty kuvassa 11. Kuusen ja männyn mittausaineisto on vuodesta 1995 vuoteen 2014 ja koivun vuodesta 2005 vuoteen 2010. Kuusen latvuston keskimääräinen vuosittainen vedenpidätys vaihtelee 53 mm ja 225 mm välillä, männyn 46 mm ja 190 mm välillä ja koivun 69 mm ja 116 mm välillä. Mann-Kendall -trenditestin perusteella (taulukko 1) kuusella ja koivulla ei ole havaittavissa trendiä, kun taas männyllä on havaittavissa nouseva trendi. Testin perusteella männyn latvuston vedenpidätys kasvaa keskimäärin noin 2,6 mm vuodessa.



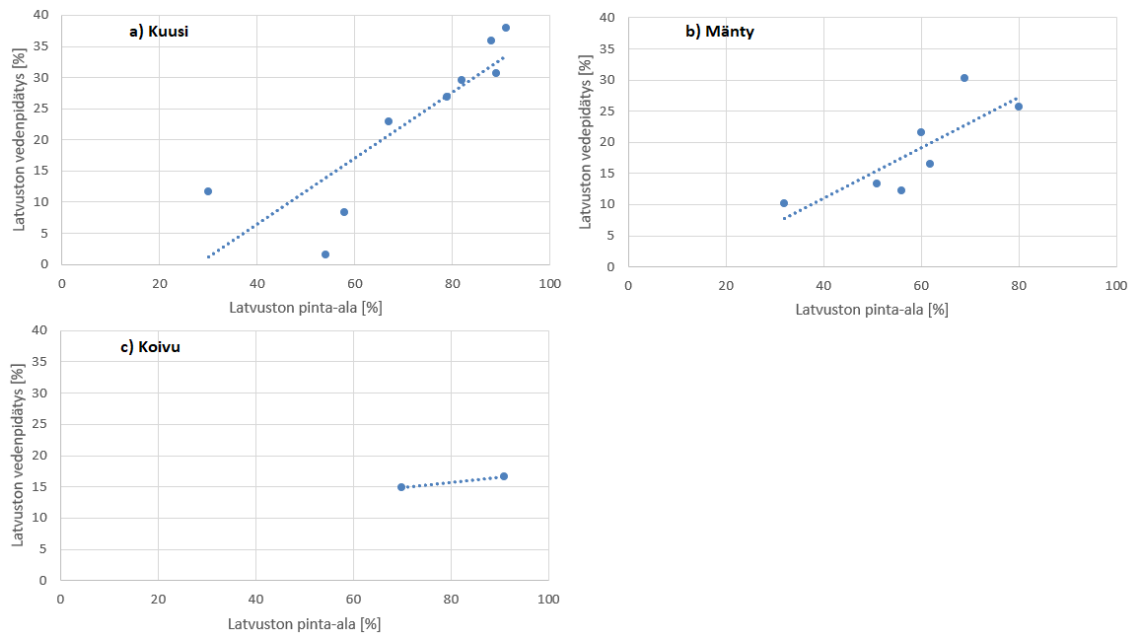
**Kuva 11. Männyn, kuusen ja koivun keskimääräinen vuosittainen latvuston vedenpidätyksen vaihtelu [mm]. Kuvasta voidaan havaita puuston latvuston vedenpidätyksen vuosittainen vaihtelu.**



**Taulukko 1. Mann-Kendallin trenditestin tulokset**

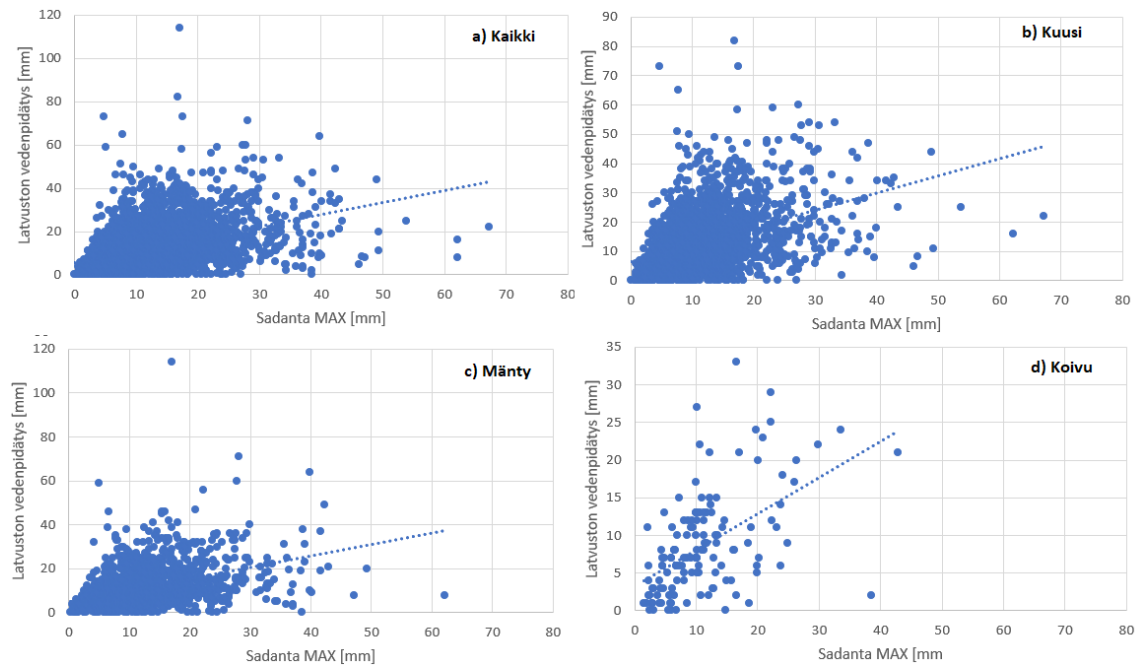
	Kuusi	Mänty	Koivu
Kendall's tau	0,274	0,389	0,333
S	52,000	74,000	5,000
Var(S)	950,000	950,000	28,333
p-value	0,098	0,018	0,452
alpha	0,05	0,05	0,05
Sen's slope	2,765	2,638	2,750

Kuusen, männyn ja koivun latvuston pinta-alan ja latvuston vedenpidätyksen välillä havaittiin voimakas positiivinen korrelaatio, joka oli kuusella 0,848, männyllä 0,815 ja koivulla 1. Tulokset osoittavat, että latvuston pinta-alan kasvaessa latvuston vedenpidätys kasvaa (kuva 12). Kuusen korrelaatiokertoimen p-arvo on 0,004 ja männyn 0,025, joten voidaan todeta, että korrelaatiokertoimien arvot ovat tilastollisesti merkittäviä.



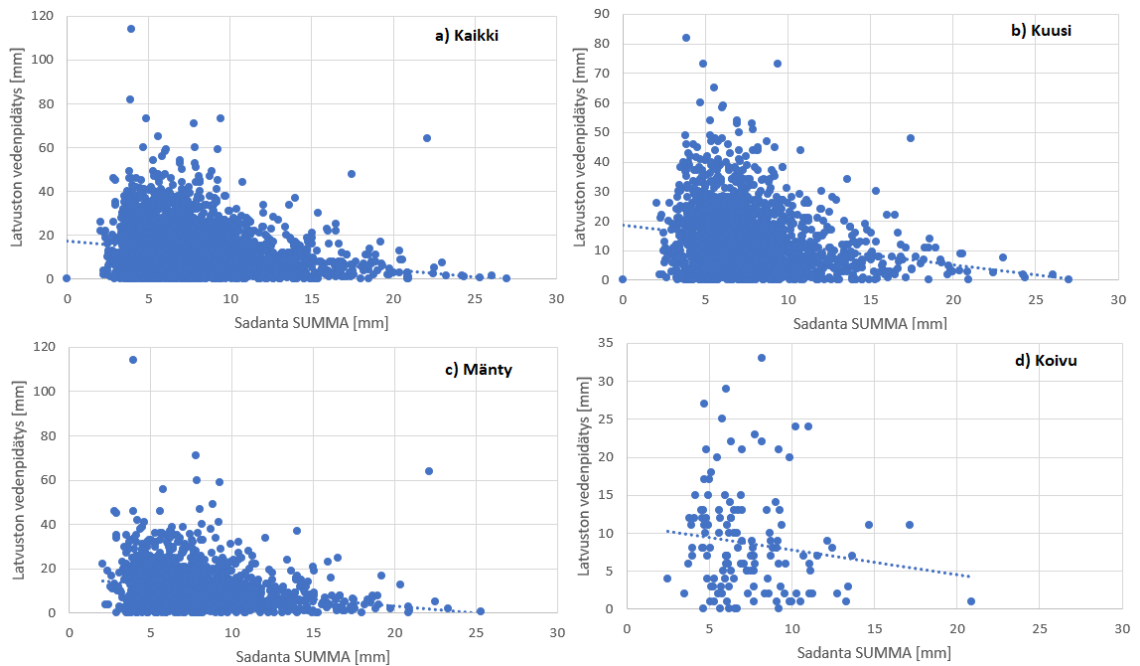
**Kuva 12. Latvuston vedenpidätyksen [%] ja latvuston pinta-alan [%] välinen riippuvuus a) kuusi b) mänty ja c) koivu. Kuvasta voidaan havaita, että latvuston pinta-alan lisääntyessä latvuston vedenpidätys lisääntyy.**

Puuston latvuston vedenpidätyksen ja maksimisadannan välillä ei havaittu voimakasta korrelaatiota, kuusen korrelaatio oli 0,412, männyn 0,421 ja koivun 0,524. Esimerkiksi maksimisadannan ollessa 20 mm tai alle kuusen latvuston vedenpidätys vaihteli 0-82 mm välillä, männyn 0-114 mm välillä ja koivun 0-33 mm välillä. Sadannan ylittäessä 20 mm kuusen latvuston vedenpidätys vaihteli 0-62 mm välillä, männyn 0-71 mm välillä ja koivun 2-29 mm välillä. Tulosten perusteella voidaan todeta, että sadannan voimakkuudella on vaikutusta latvuston vedenpidätykseen (kuva 13).



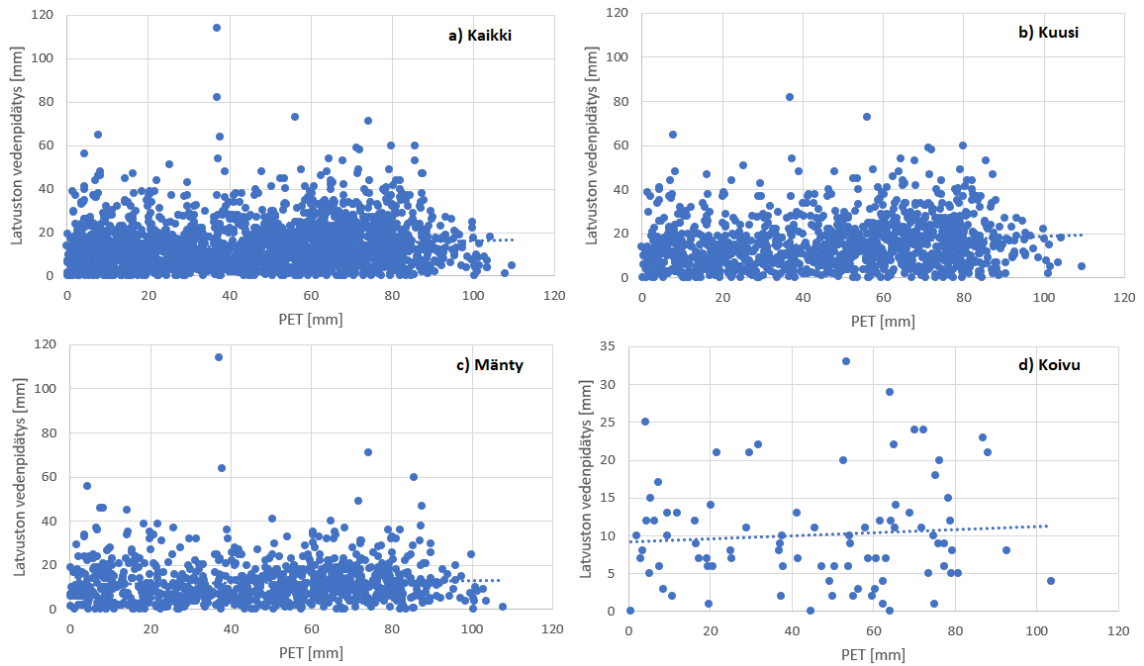
**Kuva 13. Keräysjaksottainen latvuston vedenpidätyksen [mm] ja maksimisadannan [mm] välinen riippuvuus a) kaikki puulajit b) kuusi, c) mänty ja d) koivu. Kuvasta voidaan havaita, että sadannan voimakkuudella on vaikutus latvuston vedenpidätykseen.**

Puuston latvuston vedenpidätyksen ja kokonaissadannan välillä ei havaittu voimakasta korrelaatiota, kuusen korrelaatio oli -0,204, männyn -0,219 ja koivun -0,136. Suurin latvuston vedenpidätys havaittiin pienillä kokonaissadannan arvoilla (kuva 13). Kokonaissadannan ollessa alle 5 mm latvuston vedenpidätys vaihteli kuusella 0-82 mm välillä, männyllä 0-114 mm välillä ja koivulla 0-27 mm välillä, kun vastaavasti kokonaissadannan ollessa yli 10 mm latvuston vedenpidätys harvoin ylitti 20 mm. Tulos osoittaa selkeästi sadannan määrän vaikuttavan latvuston vedenpidätyksen määrään.



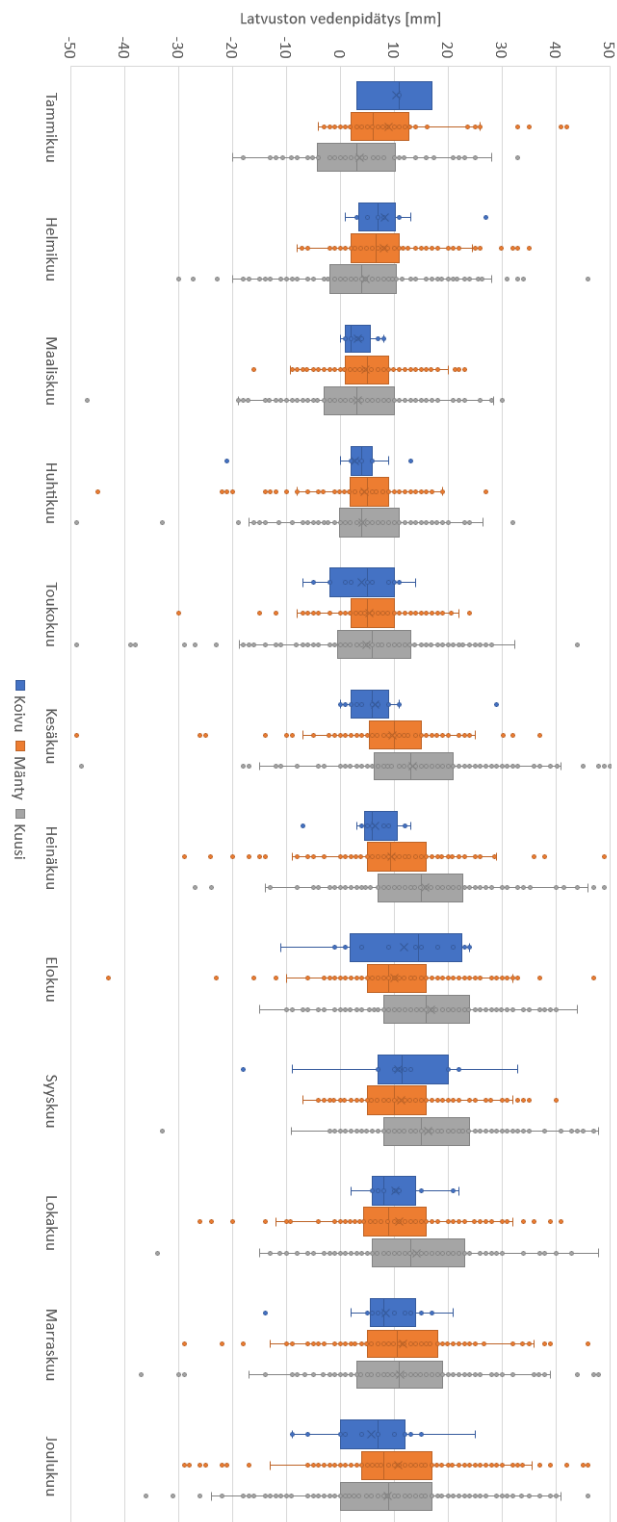
**Kuva 14. Keräysjaksottainen latvuston vedenpidätyksen [mm] ja kokonaissadannan [mm] välinen riippuvuus a) kaikki puulajit, b) kuusi c) mänty ja d) koivu. Kuvasta voidaan havaita, että suurin latvuston vedenpidätys on pienillä kokonaissadannan arvoilla.**

Puuston latvuston vedenpidätyksen ja potentiaalisen evapotranspiraation välillä ei havaittu korrelaatiota, kuusen korrelaatio oli 0,144, männyn 0,396 ja koivun 0,078. Tulosten perusteella potentiaalisella evapotranspiraatiolla ei ole vaikutusta puuston latvuston vedenpidätykseen (kuva 15).



**Kuva 15. Keräysjaksottainen latvuston vedenpidätyksen [mm] ja potentiaalisen evapotranspiraation välinen riippuvuus a) kaikki puulajit, b) kuusi, c) mänty ja d) koivu. Kuvasta voidaan havaita, että potentiaalisella evapotranspiraatiolla ei ole vaikutusta puuston latvuston vedenpidätykseen.**

Puuston latvuston vedenpidätys vaihtelee kuukausittain (kuva 16). Kuusen latvuston vedenpidätys on suurempaa kesäkuusta lokakuuhun (n. 16 mm/kk) kuin marraskuusta toukokuuhun (n. 6 mm/kk). Männyllä latvuston vedenpidätys on ympäri vuoden melko tasaista (n. 10 mm/kk), lukuun ottamatta maaliskuuta, huhtikuuta ja toukokuuta (n. 5 mm/kk). Eniten kuukausittainen latvuston vedenpidätys vaihtelee koivulla. Koivun latvuston vedenpidätys on suurempaa elokuusta marraskuuhun ja tammikuussa (n. 10 mm/kk) kuin maaliskuusta heinäkuuhun ja joulukuussa (n. 5 mm/kk).



**Kuva 16. Kuusen, männyn ja koivun kuukausittainen latvuston vedenpidätyksen vaihtelu. Kuvasta voidaan havaita latvuston vedenpidätyksen vaihtelu tammikuusta joulukuuhun.**

## 4.2 Tulosten tarkastelu

### 4.2.1 Puulajin vaikutus latvuston vedenpidätykseen

Tutkimuksessa tehtyjen laskelmien tuloksena kuusen keskimääräinen latvuston vedenpidätysprosentti oli noin 25 % ja 144 mm, männyn 19 % ja 133 mm ja koivun 16 % ja 88 mm. Havupuilla, männyllä ja kuusella oli tilastollisesti suurempi vedenpidätyskyky kuin koivulla. Kuusen ja männyn välinen Mann-Whitman p-arvo oli 0,005, kuusen ja koivun 0,001 ja männyn ja koivun 0,023. Myös Gerritsin (2010) tekemässä tutkimuksessa on todettu, että havupuumetsät pidättävät enemmän vettä kuin lehtipuumetsät (Gerrits 2010 s. 5). Lisäksi Päivänen (1966) on tutkinut kuusen, männyn ja koivun metsikkösadantaa (läpisadantaa) ja saanut samankaltaisia tuloksia: kuusikon keskimääräinen vedenpidätys oli 38 % vapaasta sadannasta, männikön 29 % ja koivikon 23 % (Päivänen 1966 s. 17).

Erot latvuston vedenpidätyksen välillä johtuvat puulajien keskinäisistä eroista. Teoriassa kuusi, mänty ja koivu ovat rakenteeltaan erilaisia: kuusella on oksistoa koko rungon mitalta, kun männyllä ja koivulla oksisto on keskittynyt puun rungon yläpäähän. Kuusen oksistot kasvavat kohtisuoraan sivuille tai viistosti hieman alaspäin, männyn oksat muodostavat säännöllisiä oksakiehkuroita ja koivun oksat kiinnittyvät epäsäännöllisesti muodostaen monihaaraisen, ylöspäin suuntautuvan soikiomaisen latvuston. Myös männyn latvusto on soikiomainen, kun taas kuusen kartiomainen. (Kellomäki 2005, s.75, 77, 79-80) Vankan rakenteensa ansiosta havupuut voivat esimerkiksi talvella varastoida niin paljon lunta, että ne romahtavat lumen painon vaikutuksesta (Gerrits 2010 s. 11). Kuusella ja männyllä on neulaset ja useita neulaskertoja ympäri vuoden, kun koivun lehdet puhkeavat kesäisin ja tippuvat syksyisin eli lehtikertoja on yksi vuodessa (Nieminen 2020). Gerrits on tutkimuksessaan (2010) todennut, että havupuiden lehtipinta-alan ollessa suurempi kuin lehtipuiden, havupuut voivat varastoida enemmän vettä. Lisäksi lehtipuiden lehdet

taipuvat helpommin tullessaan painaviksi ja lehtien ollessa veden kyllästävät, vesi tippuu maahan helpommin tasaisista lehdistä kuin neulasista. (Gerrits 2010 s. 5)

Työssä havaittiin myös maantieteellisiä eroja puuston latvuston vedenpidätyksessä: Pohjois-Suomessa puuston latvuston vedenpidätys oli yleensä pienempää kuin Etelä-Suomessa. Maantieteelliset erot johtuvat muun muassa siitä, että vettä sataa eniten etelä- ja keskiosassa maata ja vähiten Lapissa (Ilmatieteenlaitos 2020a). Sadannan lisäksi maantieteellisiä eroja voi lisätä Etelä-Suomen pidempi kasvukausi Lappiin verrattuna. Esimerkiksi Helsinki-Vantaan havaintoaseman lämpösumman keskiarvo oli vuosien 1981-2010 välillä 1453 °Cvrk, kun vastaavasti Sodankylän havaintoaseman lämpösumman keskiarvo oli 823 °Cvrk (Ilmatieteenlaitos 2020c). Pidempi kasvukausi mahdollistaa muun muassa Etelä-Suomessa metsien nopeamman kasvun ja esimerkiksi koivun lehdet pysyvät puissa pidemmän aikaa Etelä-Suomessa Lappiin verrattuna.

#### **4.2.2 Vuosittaisia eroja havaittiin latvuston vedenpidätyksessä**

Tutkimuksessa havaittiin vuosittaisia eroja puuston latvuston vedenpidätyksessä. Kuusen latvuston keskimääräinen vuosittainen vedenpidätys vaihteli 53 mm ja 225 mm välillä, männyn 46 mm ja 190 mm välillä ja koivun 69 mm ja 116 mm välillä. Kuusen latvuston vedenpidätyksen huippu oli vuonna 2012, männyn ja koivun vuonna 2008. Kuusen ja männyn latvuston vedenpidätys oli alimmillaan vuonna 1995 ja koivun vuonna 2006. Mann-Kendallin -trenditestin perusteella männyn vuosittaisessa latvuston vedenpidätyksen vaihtelussa oli havaittavissa nouseva trendi, jonka perusteella latvuston vedenpidätys kasvoi keskimäärin 2,6 mm vuodessa. Kuusella ja koivulla ei ollut havaittavissa trendiä. Männyn latvuston vedenpidätyksen nouseva trendi voisi johtua esimerkiksi metsien kasvusta sekä vuosittaisista sademääristä. Lisäksi Etelä-Suomen suuret vedenpidätyksen arvot mahdollisesti kasvattavat männyn latvuston vedenpidätyksen keskiarvoa vuosittain.

Ilmastonmuutoksen arvioitiin vaikuttavan Suomen ilmastoon muun muassa lämpötilan kohoamisella, sademäärien kasvulla ja lumipeitteen sekä roudan vähenemisellä. Myös talvilämpötilojen arvioitiin kohoavan ja kasvukauden pidentyvän. Talvella sateiden arvioitiin lisääntyvän ja yhä useammin satavan vetenä kuin lumena. Kesällä taas



rankkasateiden arvioitiin voimistuvan keskimääräisiä sateita voimakkaammiksi (Ilmatieteenlaitos 2017). Metsiin ilmastonmuutoksen arvioitiin vaikuttavan muun muassa kuusipuiden vähentymisellä, jolloin lehtipuut yleistyvät (WWF 2020). Jos pelkästään sääolosuhteet muuttuisivat, interseptio ja interseptiohaihdunta luultavasti kasvaisi. Interseption ja interseptiohaihdunnan kasvu mahdollisesti vaikuttaisi metsien vesitaseseen kokonaishaihdunnan kasvamisella ja valunnan pienentymisellä. Toisaalta puulajin merkitys interseptioon ja interseptiohaihduntaan on merkittävä, jolloin kuusipuiden vähentyminen ja lehtipuiden lisääntyminen taas kasvattaisi läpisyntymistä ja sitä kautta metsissä tapahtuvaa valuntaa.

Puuston latvuston vedenpidätyksen vuosittaiseen vaihteluun voidaan löytää muutamia selittäviä tekijöitä, kuten vuosittaisten sademäärien vaihtelut, metsien kasvusta aiheutuva latvuston pinta-alan kasvu ja metsien hoito. Esimerkiksi puuston latvuston vedenpidätyksen huippuvuodet 2008 ja 2012 olivat tavanomaista sateisempia lukuun ottamatta Itä- ja Pohjois-Lappia vuonna 2012. Vuonna 2008 maan etelä- ja itäosissa sademäärä oli 700-900 mm ja Pohjanmaalla ja Lapissa 500-700 mm. Vuonna 2012 Ilmatieteenlaitoksen havaintoasemista eniten sadantaa mitattiin Kajaanin Saaresmäessä 1031 mm. Vuonna 2006, kun koivun latvuston vedenpidätys oli alimmillaan, sademäärät vaihtelivat Helsinki-Vantaan 558 mm ja Sodankylän 408 mm välillä (Ilmatieteenlaitos 2008; Ilmatieteenlaitos 2013; Ilmatieteenlaitos 2007).

Metsän keskimääräinen vuosikasvu on noin  $4,7 \text{ m}^3/\text{ha}$  (Luonnonvarakeskus 2018). Metsien kasvu kasvattaa puuston latvuston vedenpidätystä, sillä se lisää vettä pidättävää pinta-alaa. Metsänhoidolla on taas väliaikaisesti laskeva vaikutus puuston latvuston vedenpidätykseen, sillä se vähentää metsissä vettä pidättävää pinta-alaa. Vuonna 2006 kuusen havaintoaloista Kivalossa, Juupankoskella ja Uusikaarlepyyssä tehtiin harvennushakkuita ja vuonna 2010 Punkaharjulla juurikäpään kuolleiden puiden osalta. Havaintoaloissa tehdyt harvennushakkuut ajoittuivat kevät- ja talvikuukausille. Vuonna 2005 männyn osalta harvennushakkuuta tehtiin Punkaharjussa helmikuussa ja vuonna 2008 Kivalossa elokuussa. (Nieminen 2020) Kuusen osalta metsänhoidolla ei havaittu aineiston perusteella vaikutusta latvuston vedenpidätykseen. Kun taas männyn osalta vuonna 2006 ja 2009 latvuston vedenpidätys laski harvennushakkuiden vuosiin

verrattuna (kuva 11), mikä viittaisi siihen, että metsänhoidolla voi olla laskeva vaikutus latvuston vedenpidätykseen.

#### **4.2.3 Latvuston pinta-alan lisääntyminen lisää latvuston vedenpidätystä**

Tulosten perusteella latvuston pinta-alan lisääntyminen lisää latvuston vedenpidätystä. Latvuston pinta-alan ja latvuston vedenpidätyksen välillä havaittiin voimakas positiivinen korrelaatio, joka oli kuusella 0,848 männyllä 0,815 ja koivulla 1. Saatujen korrelaatioarvojen tilastollista merkittävyyttä testattiin Pearsonin korrelaatiotestin avulla, kuusen p-arvo oli 0,004 ja männyn 0,025. Tilastollisesti latvuston vedenpidätys on riippuvainen latvuston pinta-alasta. Klamerus-Iwan (2014) on tekemässään kirjallisuustutkimuksessa myös tullut tulokseen, että vedenpidätyksen suuruus on riippuvainen maan yläpuolella olevan vettä pidättävän pinnan pinta-alasta (Klamerus-Iwan 2013 s. 293-294).

Kuusen osalta puuston latvuston pinta-alaa oli mitattu 9/12 havaintoalassa, männyn 7/14 ja koivun 2/2. Kuusen ja männyn osalta tutkimustuloksia voidaan pitää luotettavina, kun taas koivun osalta saadut tulokset eivät anna oikeaa kuvaa puuston latvuston pinta-alan ja puuston latvuston vedenpidätyksen riippuvuuden välillä. Tämä johtuu siitä, että mitattua tietoa on ainoastaan kahdesta havaintoalasta.

#### **4.2.4 Sääolosuhteiden vaikutus interseptioon**

Tutkimuksen tulosten perusteella sadannan voimakkuudella ja määrällä havaittiin olevan vaikutusta latvuston vedenpidätykseen. Sadannan voimakkuuden ja määrän kasvaessa latvuston vedenpidätys ei kasvanut samassa suhteessa. Tästä voidaan päätellä, että puuston latvusto voi pidättää enemmän vettä hitaalla tihkusateella, kuin nopealla rankkasateella. Sääolosuhteiden ja latvuston vedenpidätyksen välillä ei havaittu voimakasta korrelaatiota. Tulosten perusteella on myös nähtävissä jonkin verran vuodenajan vaihtelun vaikutuksia. Potentiaalisella evapotranspiraatiolla latvuston vedenpidätykseen vaikutusta ei havaittu. Tämä johtune siitä, että keräysjaksojen potentiaalinen evapotranspiraatio oli erittäin vähäistä, alle 100 mm.

Sadannan voimakkuutta tarkasteltaessa sadannan ollessa esimerkiksi 20 mm tai alle kuusen latvuston vedenpidätys vaihteli 0-82 mm välillä, männyn 0-114 mm välillä ja koivun 0-33 mm välillä. Sadannan ylittäessä 20 mm kuusen latvuston vedenpidätys vaihteli 0-62 mm välillä, männyn 0-71 mm välillä ja koivun 2-29 mm välillä. Sadannan määrää tarkasteltaessa suurin latvuston vedenpidätys havaittiin pienillä kokonaissadannan arvoilla. Kokonaissadannan ollessa alle 5 mm latvuston vedenpidätys vaihteli kuusella 0-82 mm välillä, männyllä 0-114 mm välillä ja koivulla 0-27 mm välillä, kun vastaavasti kokonaissadannan ollessa yli 10 mm latvuston vedenpidätys harvoin ylitti 20 mm.

Sadannan vaikutukset latvuston vedenpidätyksessä johtunevat siitä, kun lehti tai neulanen tulee hitaasti tai nopeasti veden kyllästämäksi, jolloin veden kyllästämästä lehdestä tai neulasesta vesi tippuu helpommin maahan (Gerrits 2010 s. 5). Klamerus-Iwan (2014) tutkimuksessaan on saanut samankaltaisia tuloksia: vedenpidätys kasvoi sadannan intensiteetin kasvaessa, jos sadanta oli riittävän pitkäkestoinen eli toisin sanoen sadannalla on vaikutusta latvuston vedenpidätykseen (Klamerus-Iwan 2013 s. 293-294).

Kuusen (n. 16 mm/kk) ja koivun (n. 10 mm/kk) kesä- ja syyskuukausien aikana tapahtuva latvuston vedenpidätyksen nousu viittaa vuodenajan vaihteluun, sillä ajallisesti vettä sataa eniten heinä-elokuussa ja syksyä kohden sademäärät alkavat hiipua vaikkakin sadepäiviä on syksyllä ja talvella useammin. Kesän aikana sadepäiviä on normaalisti vähiten kuukautta kohden, mutta sademäärät vuorokauden aikana ovat kesän kuurosateissa enimmillään (Ilmatieteenlaitos 2020). Lisäksi koivussa on lehdet toukokuusta syyskuuhun paikkakunnasta riippuen. Koivun talviaikainen korkea latvuston vedenpidätys (n. 10 mm/kk) voi johtua siitä, että latvusto on kerännyt lunta ja lumi on tipahtanut kerralla lumen keräimeen. Männyn latvuston vedenpidätyksessä (n. 10 mm/kk) ei ole nähtävissä selkeästi vuodenajan vaihtelun vaikutuksia, vaikkakin latvuston vedenpidätys on pienimmillään kevätkuukausina (n. 5 mm/kk), jolloin ajallisesti sadantaa on yleensä vähiten (Ilmatieteenlaitos 2020a).

Gerrits (2010) tutkimuksessa on havaittu vuodenajan vaihtelun vaikutuksia veden varastointikapasiteetissa pyökkipuumetsässä. Talvella veden varastoinnin kapasiteetti oli keskimäärin noin 0,4 mm ja kesällä, kun puissa oli lehdet, 0,9 mm (Gerrits 2010 s. 40). Grelle ym. (1996) tekemässä tutkimuksessa kuusi- ja mäntymetsässä veden varastointikapasiteetti oli kasvukaudella toukokuusta lokakuuhun vesitaseella määriteltynä 3,3 mm ja kun verrattiin metsikkösadantaa ja sadantaa varastointikapasiteetti oli 1,5 mm (Grelle ym. 1996).

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkituista puulajeista kuusen latvusto pidätti eniten vettä (25 %, 144 mm). Toiseksi eniten vettä pidätti männyn latvusto (19 %, 113 mm) ja vähiten koivun latvusto (16 %, 88 mm). Tulosten perusteella voidaan todeta, että havupuumetsät pidättävät enemmän vettä kuin lehtipuumetsät. Erot puulajien välillä johtuivat puulajien rakenteellisista eroista. Latvuston vedenpidätyksessä havaittiin myös maantieteellisiä eroja: Pohjois-Suomessa latvuston vedenpidätys oli yleensä vähäisempää kuin Etelä-Suomessa. Havaintoalat ovat keskittyneet Etelä-Suomen alueelle, missä sademäärät ovat korkeampia Pohjois-Suomeen verrattuna. Sadannan lisäksi maantieteellisiä eroja voi lisätä Etelä-Suomen pidempi kasvukausi Lappiin verrattuna. Mann-Kendallin -trenditestin perusteella männyn vuosittaisessa latvuston vedenpidätyksen vaihtelussa oli havaittavissa nouseva trendi (2,6 mm/vuosi), kun taas kuusella ja koivulla ei havaittu trendiä. Männyn latvuston vedenpidätyksen nouseva trendi johtune muun muassa metsien kasvusta ja sademääristä. Lisäksi Etelä-Suomen suuret vedenpidätyksen arvot mahdollisesti kasvattivat männyn latvuston vedenpidätyksen keskiarvoa vuosittain.

Tutkimuksessa puuston latvuston pinta-alan ja latvuston vedenpidätyksen välillä havaittiin voimakas positiivinen korrelaatio, eli toisin sanoen mitä enemmän metsässä oli latvuston pinta-alaa, sitä enemmän latvusto pidätti vettä. Myös sääoloilla havaittiin olevan vaikutusta latvuston vedenpidätykseen. Sadannan voimakkuuden ja määrän kasvaessa latvuston vedenpidätys ei kasvanut samassa suhteessa. Tästä voitiin päätellä, että puuston latvusto voi pidättää enemmän vettä hitaalla tihkusateella, kuin nopealla rankkasateella. Potentiaalisella evapotranspiraatiolla ei havaittu olevan vaikutusta latvuston vedenpidätykseen. Vuodenajan vaihtelun vaikutuksia oli nähtävissä kuusella ja koivulla, sillä niiden latvuston vedenpidätys nousi kesä- ja syyskuukasien aikana, jolloin myös sademäärät nousevat. Sadannan lisäksi koivun nousseeseen latvuston vedenpidätykseen vaikutti koivun lehtien puhkeaminen kesän aikana ja niiden tippuminen syksyn tullessa.

Tutkimuksessa käytettyä mittausaineistoa ei ole käytetty aiemmin sadannan interseption tutkimuksen suorittamiseen. Mittausaineistosta on kuitenkin mahdollista tehdä erilaisia

tutkimuksia ja tässäkin työssä olisi mahdollista tehdä lisätutkimuksia aineistosta. Lisätutkimuksia voisi tehdä esimerkiksi potentiaalisen evapotranspiraation ja latvuston vedenpidätyksen välillä, esimerkiksi kuukausi- tai vuositasolla. Lisäksi lisätutkimuksia voisi kohdentaa enemmän maantieteellisiin eroihin ja sitä kautta vuosittaisten vaihtelujen tutkimuksiin. Tutkimuksessa tehtyjä analyysejä on nähty olevan kuitenkin tarpeeksi, joten analyysien teko on rajattu yllä oleviin. Tutkimuksessa käytettyä mittaussaineistoa voisi olla enemmän, esimerkiksi koivun osalta mittaussaineistoa on valitettavan vähän kuusen ja männyn mittaussaineistoon verrattuna. Koivun mittaussaineisto haluttiin kuitenkin pitää tutkimuksessa mukana, jotta saatiin vertailukohde ja jonkinlainen käsitys lehtipuun latvuston vedenpidätyksestä. Aineisto voisi olla myös vertailukelpoisempaa, kun mittausjaksot olisivat seurantametsissä samanaikaisia ja seurantametsiä puulajien osalta olisi samalla paikkakunnalla enemmän.

Yleisesti ottaen tutkimuksen tuloksia voidaan pitää luotettavina, sillä tulokset ovat saman suuntaisia kuin kirjallisuudessa saadut tulokset. Koivun osalta tutkimus ei kuitenkaan anna välttämättä oikeaa kuvaa koivun latvuston vedenpidätyksestä, johtuen sen aineiston vähäisyydestä.

## 6 YHTEENVETO

Diplomityössä tutkittiin kuusen, männyn ja koivun latvuston vedenpidätystä ja siihen vaikuttavia tekijöitä, kuten puuston latvuston pinta-alan ja sääolosuhteiden vaikutuksia. Sääolosuhteista tutkittiin sadannan intensiteetin, kokonaissadannan ja potentiaalisen evapotranspiraation vaikutuksia. Lisäksi työssä havainnollistettiin maantieteellisiä eroja, vuosittaista ja kuukausittaista vaihtelua sekä trendiä latvuston vedenpidätyksessä.

Suomi kuuluu ICP Forests – metsien seurantaohjelmaan, joka seuraa metsien kuntoa Euroopassa. Seurantaohjelman tavoitteena on tuottaa tietoa metsäekosysteemin tilasta ja sen yhteydestä ilman epäpuhtauksiin, ilmastomuutokseen sekä luonnon monimuotoisuuteen. Metsien seuranta tuottaa hydrologista seuranta-aineistoa, jota käytettiin tutkimuksen suorittamiseen. Hydrologinen seuranta-aineisto koostui metsikkösadannan ja avoimen paikan sadannan mittauksista. Seuranta-aineisto saatiin käyttöön Luonnonvarakeskukselta ja se sisälsi sadannan mittauksia 28:sta eri havaintoalasta ympäri Suomea. Havaintoaloista 14 oli mäntymetsää, 12 kuusimetsää ja 2 koivumetsää. Työ tehtiin Oulun Yliopistolle, Vesi-, Energia- ja Ympäristötekniikan tutkimusyksikölle yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen kanssa.

Työ toteutettiin tekemällä seuranta-aineistosta laskelmia ja havainnollistavia kuvaajia sekä perehtymällä aiheesta jo aiemmin tehtyihin tutkimuksiin. Hydrologisen seuranta-aineiston analyysi perustuu tilastollisiin menetelmiin, kuten Mann-Whitneyn testiin, korrelaatiotestiin ja Mann-Kendallin trenditestiin. Seuranta-aineiston havainnollistamista varten tehtiin muun muassa pisteviivakuvaajia, hajontakuvaajia sekä laatikkojana-kuvaaja. Kirjallisuuskatsauksessa keskityttiin sadannan ja haihdunnan teoriaan sekä Suomen sääoloihin ja tutkimuksessa esiintyviin puulajeihin.

Tutkimuksen tuloksena kuusen keskimääräinen latvuston vedenpidätys oli noin 25 %, 144mm, männyn 19 %, 133 mm ja koivun 16%, 88 mm. Erot puulajien vedenpidätyksen välillä johtuivat latvuston rakenteellisista eroista sekä siitä, että kuusella ja männyllä on ympärivuotiset neulaset ja monta neulasvuosikertaa. Kun taas koivun lehdet puhkeavat kesäisin ja syksyn tullessa tippuvat eli koivulla on vain yksi

lehtivuosikerta. Toisin sanoen puuston latvuston pinta-ala puulajien välillä eroavat toisistaan.

Työssä havaittiin myös maantieteellisiä eroja: Pohjois-Suomessa latvuston vedenpidätys oli vähäisempää kuin Etelä-Suomessa, sillä sademäärät ovat korkeampia Etelä-Suomessa kuin Pohjois-Suomessa. Myös lämpösummalla arvioitiin olevan mahdollinen vaikutus maantieteellisiin eroihin: Etelä-Suomessa vuosittainen keskimääräinen lämpösumma oli suurempi Lappiin verrattuna. Työssä tutkittiin myös latvuston pinta-alan ja sääolosuhteiden vaikutuksia puuston latvuston vedenpidätykseen. Tutkimuksen tuloksena latvuston pinta-alan lisääntyminen lisäsi latvuston vedenpidätystä. Mann-Kendallin trenditestillä paljasti männyn vuosittaisessa latvuston vedenpidätyksessä nousevan trendin, kun taas kuusella ja koivulla trendiä ei havaittu.

Tutkimuksessa havaittiin myös vuosivaihtelua latvuston vedenpidätyksessä. Vuosivaihtelu johtunee sääolosuhteiden vaihteluista, metsien kasvusta sekä metsien hoidosta. Sääolosuhteista sadannan voimakkuudella ja määrällä havaittiin vaikutuksia latvuston vedenpidätykseen. Sadannan vaikutukset latvuston vedenpidätykseen johtuivat puiden neulasista ja lehdistä. Lehtien tai neulasten tullessa hitaasti tai nopeasti veden kyllästämäksi, vesi tippuu vedenkylästämästä lehdestä tai neulasesta helpommin maahan. Potentiaalisella evapotranspiraatiolla vaikutuksia ei havaittu. Puuston latvuston vedenpidätyksessä oli havaittavissa myös hieman vuodenajan vaihteluun viittaavia yhteyksiä kuusella ja koivulla, sillä niiden latvuston vedenpidätys nousi kesä- ja syyskuukausien aikana, jolloin myös sademäärät nousevat. Sadannan lisäksi koivun nousseeseen latvuston vedenpidätykseen vaikutti koivun lehtien puhkeaminen kesän aikana ja niiden tippuminen syksyn tullessa.

Yleisesti ottaen tutkimuksen tuloksia voidaan pitää luotettavina, sillä ne ovat saman suuntaisia kirjallisuuden tulosten kanssa. Koivun osalta tutkimus ei kuitenkaan anna oikeaa kuvaa koivun latvuston vedenpidätyksestä mitta-aineiston vähyyden vuoksi. Työssä käytetty aineisto voisi olla myös vertailukelpoisempaa, kun mittausjaksot olisivat seurantametsissä saman mittaisia ja seurantametsiä puulajien osalta olisi samalla paikkakunnalla enemmän.



Tässä työssä käytetystä seuranta-aineistosta on mahdollista tehdä lisätutkimuksia ja tutkimuksen tuloksia voisi käyttää esimerkiksi havaintoalojen maavesiaineistoa tutkittaessa. Tämän työn tuloksia on mahdollista myös hyödyntää muun muassa tutkittaessa metsien ekosysteemiä ja metsien vesitasetta sekä esimerkiksi suunniteltaessa kaupunkialueiden kuivatusta. Puustoa voitaisiin hyödyntää kaupunkialueilla esimerkiksi ainakin osittain hidastamaan pintavaluntaa valitsemalla mahdollisimman vettä pidättävä puulaji.

## 7 LÄHTEET

Dingman S., 2008. Physical Hydrology. Second edition. United States of America: Waveland Press, Ink. 646 s. ISBN 1-57766-561-9

Gerrits M., 2010. The role of interception in the hydrological cycle. Delft University of Technology. 126 s.

Grelle A., Lundberg A., Lindroth A., Morén A.-S., Cienciala E., 1996. Evaporation components of a boreal forest: variations during the growing season. Journal Hydrology Volume 197. Issues 1-4. 70-87 s.

Heikkinen R., Leikola N., Aalto J., Aapala K., Kuusela S., Luoto M., & Virkkala R., 2020. Fine-grained climate velocities reveal vulnerability of protected areas to climate change. Article in Scientific Reports 11 s.

Herbst M., Rosier P., McNeil D., Harding R., Gowing D., 2008. Seasonal variability of interception evaporation from the canopy of a mixed deciduous forest. Agricultural and Forest Meteorology. Volume 148. Issue 11. 1655-1667 s.

Hooli J., Sallanko J., 1996. Hydrologia luentomoniste. Sarja B, Julkaisu 5. Oulun Yliopisto, Vesiteknikan laboratorio, 127 s. ISBN 951-42-4440-0

ICP Forests 2011a. Welcome to ICP Forests. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://icp-forests.net/> [viitattu 10.1.2020].

ICP Forests 2011b. Programme. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://icp-forests.net/page/programme-2> [viitattu 10.1.2020].

ICP Forests 2016. ICP Forests Manual. Part IX Meteorological measurements. 31 s. [verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://www.icp-forests.org/pdf/manual/2016/ICP\\_Manual\\_2016\\_01\\_part09.pdf](http://www.icp-forests.org/pdf/manual/2016/ICP_Manual_2016_01_part09.pdf) [viitattu 12.1.2020].

Ilmatieteenlaitos 2007. Vuoden 2006 säät. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2006> [viitattu 2.5.2020].

Ilmatieteenlaitos 2008. Tiedotearkisto: 2008. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/1230711770> [viitattu 2.5.2020].

Ilmatieteenlaitos 2013. Vuoden 2012 säät. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2012> [viitattu 2.5.2020].

Ilmatieteenlaitos 2017. Ilmasto-opas.fi. Ennustettu ilmastonmuutos Suomessa. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/74b167fc-384b-44ae-84aa-c585ec218b41/ennustettu-ilmastonmuutos-suomessa.html> [viitattu 7.4.2020].

Ilmatieteenlaitos 2019a. Sadetta ja poutaa. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/sade> [viitattu 5.4.2020].

Ilmatieteenlaitos 2019b. Suomen ilmastoa kuvaavat vertailukauden 1981-2010 keskiarvot. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastollinen-vertailukausi> [viitattu 7.4.2020].

Ilmatieteenlaitos 2020a. Ilmasto-opas.fi. Nykyinen ilmasto – 30 vuoden keskiarvot. [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/1c8d317b-5e65-4146-acda-f7171a0304e1/nykyinen-ilmasto-30-vuoden-keskiarvot.html#h\\_Pilvisyys\\_ja\\_auringonpaiste](https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/1c8d317b-5e65-4146-acda-f7171a0304e1/nykyinen-ilmasto-30-vuoden-keskiarvot.html#h_Pilvisyys_ja_auringonpaiste) [viitattu 17.2.2020].

Ilmatieteenlaitos 2020b. Havaintojen lataus. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/> [viitattu 25.2.2020].

Ilmatieteenlaitos 2020c. Terminen kasvukausi. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/terminen-kasvukausi> [viitattu 26.5.2020].

Kellomäki S., 2005. Metsäekologia. Joensuu: Joensuun Yliopisto, 297 s. ISBN 952-458-635-5

Klamerus-Iwan A., 2014. Different views on tree interception process and its determinants. Forest Research Institute. Vol. 75 (3). 291-300 s.

Kärkkäinen M., 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Metsäkustannus Oy. 468 s. ISBN 9789525694109

Leppäranta M., Virta J., Huttula T., 2017. Hydrologian perusteet. Helsingin yliopisto: Fysiikan laitos. Helsinki 209 s.

Lindroos A.-J., Derome J., Mustajärvi K., Njöd P., Beuker E., Helmisaari H.-S., 2008. Fluxes of dissolved organic carbon in stand throughfall and percolation water in 12 boreal coniferous stands on mineral soils in Finland. Boreal Environment Research 13 (Suppl. B). Helsinki. 22-34 s.

Lindroos A.-J. 2020. Diplomityön tulosten tarkastus. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Mirva Kuivalainen. Lähetetty: 09.04.2020 klo. 12.09 (GMT +0200)

Luonnonvarakeskus 2013a. Forest Condition Monitoring in Finland – National report. Forest condition monitoring under the UN/ECE and EU programmes in Finland. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/forest-condition/programmes/programmes.htm> [viitattu 10.1.2020].

Luonnonvarakeskus 2013b. Forest Condition Monitoring in Finland – National report. Estimation of canopy cover using planar photography method. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/forest-condition/intensive-monitoring/canopy.htm> [viitattu 17.1.2020].

Luonnonvarakeskus 2013. Euroopan metsäisin maa. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/suomen-metsat/> [viitattu 8.4.2020].

Luonnonvarakeskus 2014a. Forest Condition Monitoring in Finland – National report. Extensive monitoring of forest condition – Level I in Finland. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/forest-condition/programmes/extensive-monitoring.htm> [viitattu 10.1.2020].

Luonnonvarakeskus 2014b. Forest Condition Monitoring in Finland – National report. Intensive and continuous monitoring of forest ecosystems – Level II in Finland. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/forest-condition/programmes/intensive-monitoring.htm> [viitattu 10.1.2020].

Luonnonvarakeskus 2018. Valtakunnan metsien 12. inventointi (VMI12): Puuvarat kasvavat edelleen. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.luke.fi/uutinen/valtakunnan-metsien-12-inventointi-vmi12-puuvarat-kasvavat-edelleen/> [viitattu 25.2.2020].

Nieminen T., Derome J., Helmisaari H.-S., 1999. Interactions between precipitation and Scots pine canopies along a heavy-metal pollution gradient. Environmental pollution. Volume 106. Issue 1. 129-137 s.

Nieminen T., 2020. Diplomityön tulosten tarkastus [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Mirva Kuivalainen. Lähetetty: 03.04.2020 klo. 21.53 (GMT +0200)

Peda.net 2020. Maapallon vesivarat. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://peda.net/Catalunya/vedet/vpl/mediamappi/kuvat/maapallon-vesivarat> [viitattu 17.4.2020].

Puuproffa 2020a. Kuusi. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuproffa.fi/puutieto/yleista-puista/kuusi/> [viitattu 20.1.2020].

Puuproffa 2020b. Mänty. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuproffa.fi/puutieto/yleista-puista/manty-2/> [viitattu 20.1.2020].

Puuproffa 2020c. Rauduskoivu [verkkodokumentti].  
Saatavissa: <https://puuproffa.fi/puutieto/yleista-puista/rauduskoivu/> [viitattu 20.1.2020].

Päivänen J., 1966. Sateen jakautuminen erilaisissa metsiköissä. 37 s.  
[verkkodokumentti]. Helsinki: Uudenmaan Kirjapaino O.Y. Saatavissa:  
<https://silvafennica.fi/pdf/article4732.pdf> [viitattu 9.4.2020].

RIL141, 1982. Yleinen vesitekniikka. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto. 433 s. ISBN 951-758024-x

U. S. Geological Survey 2017. Veden kiertokulusta – The Water Cycle, Finnish [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.usgs.gov/media/images/veden-kiertokulusta-water-cycle-finnish> [viitattu 1.7.2020].

Vesiyhdistys r.y., 1968. Sovellettu hydrologia. Mänttä: Mäntän kirjapaino Oy. 503 s.

WWF 2020. Metsä. [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://wwf.fi/ilmastonmuutos-suomessa/metsa/> [viitattu 7.4.2020]